

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA GESTÃO
INTELIGENTE DA POLUIÇÃO URBANA RESULTANTE DO TRÁFEGO VEICULAR**

MATHEUS CARVALHO ANDRADE

ORIENTADOR: DR. PASTOR WILLY GONZALES TACO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA / DF: FEVEREIRO/ 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA GESTÃO
INTELIGENTE DA POLUIÇÃO URBANA RESULTANTE DO TRÁFEGO VEICULAR**

MATHEUS CARVALHO ANDRADE

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)**

**FABIO ZANCHETTA, DR (ENC - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, DR (ENC - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 14 de fevereiro de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, MATHEUS CARVALHO

Utilização de Sistemas De Informações Geográficas para gestão inteligente da poluição urbana resultante do tráfego veicular [Distrito Federal] 2019.

(ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Andrade, M.C. (2019). Utilização de Sistemas De Informações Geográficas para gestão inteligente da poluição urbana resultante do tráfego veicular. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Matheus Carvalho Andrade

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Utilização de Sistemas de Informações Geográficas para gestão inteligente da poluição urbana resultante do tráfego veicular

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Matheus Carvalho Andrade

Brasília/DF – Brasil

matheuscarvalho046@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pelas totais condições de realizar esse trabalho. A minha Mãe e familiares pelo apoio e suporte durante toda a graduação. Aos meus amigos da universidade que tornaram essa etapa mais fácil e me apoiaram nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador, Professor Pastor Willy Gonzales Taco, pela oportunidade, suporte, paciência e conhecimentos necessários para realização do trabalho. A todos os professores que tive a oportunidade de conhecer durante a vida escolar e acadêmica.

Agradeço ao DETRAN/DF por fornecer dados necessários para a pesquisa, e a todas citados como referências.

Agradeço a Universidade de Brasília pela oportunidade de estudo e por tornar um sonho realidade.

RESUMO

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA GESTÃO INTELIGENTE DA POLUIÇÃO URBANA RESULTANTE DO TRÁFEGO VEICULAR

A ocupação das cidades e o aumento expressivo do número de automóveis circulando nos centros urbanos causam graves prejuízos para a qualidade de vida e da mobilidade. A poluição representa uma consequência direta de tal problema, podendo causar doenças a pessoas frequentemente expostas e diminuindo a qualidade do ar. Com o intuito de solucionar ou minimizar problemas relacionados ao tráfego, governos e gestores têm adotado Sistemas Inteligentes de Transportes fundamentados em modelos e conceitos de Cidades Inteligentes. Nesse contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo utilizar sistema de informações geográficas como ferramenta de apoio a gestão inteligente da qualidade do ar das vias no Distrito Federal (SIGArDF), em particular das avenidas W3 Sul e W3 Norte.

O modelo se baseia em técnicas de análise espacial, dados de fluxo veicular dos controladores de velocidade e métricas para avaliação da qualidade do ar. A metodologia aplicada permitiu a criação de cenários por meio de representações espaciais. Isso possibilitou a análise da poluição na área de estudo, identificando os grupos de risco e correlacionando com a oferta de atrativos geradores de tráfego.

Palavras-chave: Cidades Inteligentes; Big Data; Sistemas Inteligentes de Transportes; Sistema de Informação Geográfica; Poluição Urbana; W3 Sul; W3 Norte.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Problematização.....	2
1.1.1 Problema	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Geral.....	3
1.2.2 Específicos	3
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Justificativa.....	4
1.5 Estrutura.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Cidades inteligentes	6
2.1.1 Smart Cities.....	7
2.1.2 Mobilidade em Cidades Inteligentes.....	8
2.1.3 Níveis de uma Cidade Inteligente	9
2.2 Big Data.....	11
2.3 Sistemas Inteligentes de Transporte	13
2.3.1 Transporte Urbano e ITS	14
2.3.2 Estrutura e Arquitetura ITS.....	15

2.3.3	Aplicações.....	19
2.4	Sistema de apoio a gestão e Sistemas de Informações Geográficas.....	20
2.4.1	Estrutura SIG	20
2.4.2	SIG e Transporte Urbano.....	23
2.5	Poluição Veicular Urbana.....	23
2.5.1	Cenário Local.....	24
2.5.2	Transporte e Poluição	26
2.5.3	Poluentes veiculares.....	27
3	MÉTODO.....	31
3.1	Apresentação	31
3.2	Etapas do Método	32
3.2.1	Delimitação da área de estudo	33
3.2.2	Identificação do fluxo de veículos	33
3.2.3	Montagem do banco de dados geográfico	33
3.2.4	Determinação dos níveis de emissão	34
3.2.5	Representação Espacial dos poluentes.....	35
4	ESTUDO DE CASO: POLUIÇÃO AMBIENTAL DA AVENIDA W3.	36
4.1	Apresentação	36
4.2	Caracterização da área de estudo.....	36
4.3	Aplicação da metodologia	37

4.3.1	Delimitação da área de estudo	37
4.3.2	Identificação do fluxo de veículos	39
4.3.3	Montagem do banco de Dados geográfico	42
4.3.4	Caracterização do tráfego de veículos na W3.....	44
4.3.5	Determinação da emissão veicular	49
4.4	Classificação do Ar.....	57
4.5	Níveis máximos de emissões e polos geradores de tráfego.....	66
5	CONCLUSÃO	68
5.1	Apresentação	68
5.2	Limitações	68
5.3	Conclusões.....	68
5.4	Avaliação da metodologia e aplicabilidade	70
5.5	Sugestões de trabalhos futuros	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura do trabalho.....	5
Figura 2 Arquitetura de sistemas de gerenciamento para cidades inteligentes	10
Figura 3 Componentes Sistema inteligentes de transporte	16
Figura 4 Etapas projeto ITS	17
Figura 5 Arquitetura lógica básica	18
Figura 6 Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica.....	22
Figura 7 Proposta de Trabalho	31
Figura 8 Esquema geral do Método.	32
Figura 9 Site licenciamento Esri – ArcGIS.....	34
Figura 10 Vista Aérea do Distrito Federal	36
Figura 11 Mapa viária do Plano Piloto	37
Figura 12 W3 SUL e NORTE	38
Figura 13 Composição por segmento.....	40
Figura 14 Composição da frota de automóveis nacionais por combustível.....	41
Figura 15 Menu Sistema Ares Detran/DF.....	42
Figura 16 Sistema Ares Detran/DF	42
Figura 17 Distribuição dos radares	44
Figura 18 Variação diária do volume de veículos por controlador de velocidade.....	45
Figura 19 Variação horária do volume de veículos por controlador de velocidade.....	46
Figura 20 Volume de automóveis por horas pico (Norte/Sul)	47
Figura 21 Volume de automóveis por horas pico (Sul/Norte)	47
Figura 22 Volume de automóveis por dia Norte/Sul	48
Figura 23 Volume de automóveis por dia Sul/Norte	49
Figura 24 Emissão de CO g/h por km; Sentido Norte/Sul.	54
Figura 25 Emissão de CO g/h por km; Sentido Sul/Norte.	55
Figura 26 Emissão de NOx g/h por km; Sentido Norte/Sul.....	56
Figura 27 Emissão de NOx g/h por km; Sentido Sul/Norte.....	56
Figura 28 Perfil de concentração de poluentes	59
Figura 29 Área de influência na W3 Sul.	60
Figura 30 Área de influência SHIGS 712/713	61
Figura 31 Área de influência setor Hoteleiro Sul e Pátio Brasil.	61

Figura 32 Área de influência na W3 Norte.	62
Figura 33 Área de influência SCRN 502.	63
Figura 34 Modelo condições da qualidade do ar	63
Figura 35 Qualidade do ar 22h-23h	66
Figura 36 Máximos volumes diários e polos geradores de tráfego.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição Frota veicular DF.....	25
Tabela 2 Emissões de CO ₂ equivalente (por passageiro e km).	27
Tabela 3 Tipos de poluentes por Combustíveis.....	30
Tabela 4 Efeitos nocivos dos principais poluentes veiculares na atmosfera (Ipea).	30
Tabela 5 Perfil do comércio na W3.....	39
Tabela 6 Composição da frota por Combustível.	40
Tabela 7 Frota de veículos registrada por ano de fabricação.	41
Tabela 8 Tráfego diário (21/11)	48
Tabela 9 Taxas de emissão de CO por ano de fabricação	50
Tabela 10 Taxas de emissão de NO _x por ano de fabricação.....	51
Tabela 11 Taxas de CO por horários- pico.....	52
Tabela 12 Taxas de NO _x por horários- pico	53
Tabela 13 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr).....	57
Tabela 14 Significado da qualidade do ar estabelecido pelo IQAr	57
Tabela 15 Emissão de NO ₂ em horários críticos	64
Tabela 16 Emissão de NO ₂ no decorrer de um dia	65
Tabela 17 Volumes máximos	66

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Compostos orgânicos voláteis
GNV	Gás natural veicular
HC	Hidrocarbonetos
IQAr	Índice de qualidade do ar
MP	Material particulado
NO _x	Óxido de nitrogênio
SIG	Sistema de informações geográficas
SIG-T	Sistemas de informações geográficas para transportes
SO _x	Óxidos de enxofre

1. INTRODUÇÃO

O Distrito Federal concentra a maior densidade demográfica do Brasil, além disso, possui uma população de maioria absoluta urbana que concentra suas atividades na área central da cidade, onde a circulação de pessoas é intensificada em horários específicos. Em 2017 a frota de veículos atingiu a marca de 1.700.000 veículos (IBGE, 2016) e a população ultrapassou a marca de 3 milhões de habitantes no mesmo ano.

A quantidade de veículos automotores nas cidades, associada com infraestrutura inadequada, acarreta nocivos impactos ao ambiente urbano e à qualidade da vida das pessoas. Entre as diversas consequências do número de veículos pode-se destacar a dificuldade de mobilidade e aumento dos congestionamentos. Outra sequela menos visível, mas de igual relevância é a poluição veicular sonora, visual e principalmente atmosférica nos centros urbanos, agravada nos horários de pico. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2011), mais de 20 % das emissões de CO₂ no mundo são provenientes dos sistemas de transporte.

A partir desse cenário observa-se a necessidade de uma gestão pública urbana voltada para o tráfego urbano, afim de obter informações, identificar e localizar problemas. O monitoramento inteligente e a armazenagem de informações geográficas em tempo real são umas das diretrizes formadoras de uma cidade inteligente.

Cidades inteligentes são aquelas que têm foco em um modelo particularizado, com visão moderna do desenvolvimento urbano e que reconhecem a crescente importância das tecnologias da informação e comunicação no direcionamento da competitividade econômica, sustentabilidade ambiental e qualidade de vida geral da população (DUTTA, 2011).

Entre as diversas diretrizes constituintes de uma cidade inteligente, tais como acesso a informação, Educação, segurança e saúde, destaca-se a gestão voltada para mobilidade e transporte urbano, na qual os sistemas inteligentes de transporte desempenham a função de usar a informação e tecnologia da comunicação em transportes para melhoria da gestão de serviços urbanos, afim de melhorar o tráfego e reduzir congestionamentos (CHOWDHURY, 2013)

Estudos têm apresentado ferramentas tecnológicas de informação para atender essas diretrizes, tais como o uso de sistemas de informações geográficas que tem se tornado essencial

na busca de soluções para problemáticas relacionadas a grandes cidades devido a necessidade de tratar com grande quantidade de dados, podendo dessa forma localizar e quantificar a problemática estudada.

1.1 Problematização

O êxodo rural do século XX e a procura por melhores condições de vida nas cidades proporcionaram um inchaço nos grandes centros urbanos. A concentração de pessoas trouxe consequências em diversos ramos da sociedade, não sendo diferente na mobilidade urbana, sobretudo nas cidades em que o transporte individual sobressai ao coletivo.

O tráfego de veículos pode trazer diversos tipos de problemas que dificultam a mobilidade urbana e interferem na qualidade de vida nas cidades. Para se alcançar melhorias nessa área vê-se a necessidade de conhecer os deslocamentos e caracterizar a frota veicular e identificar os mais significativos problemas de cada região.

A caracterização das vias e a coleta de dados em tempo real é uma das características das Cidades Inteligentes que utilizam do sistema de informações geográficas e a armazenam em um grande banco de dados que pode ser analisado pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A utilização de SIGs tem uma importância fundamental nos estudos de viabilidade de tráfego, visto que a partir dele pode-se estabelecer relações entre o problema existente e as problemáticas associadas à região de circulação.

Dentre os diversos problemas associados à utilização em massa do transporte por veículos talvez um dos mais preocupantes seja a exposição à poluição oriunda do tráfego veicular. No Distrito Federal a situação se agrava devido a preferência pelo transporte individual e pela alta taxa de densidade demográfica na região.

A emissão de gases por veículos contribui cada vez mais para o aparecimento de doenças respiratórias nos centros urbanos e representam um dos principais causadores do efeito estufa em macrorregião. As grandes cidades são constantemente cobradas a encontrar soluções para reduzir poluentes oriundos de indústrias e tráfego urbano. O quinto relatório do Painel

Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) e (IPCC, 2018) deixaram claro que a adaptação urbana, atualmente, é fundamental no enfrentamento das mudanças do clima.

1.1.1 Problema

O Distrito Federal sofre com acelerada urbanização e ocupação do solo que consequentemente levam a um elevado volume de tráfego em suas vias. O desenvolvimento de ferramentas auxiliares à gestão é necessário para conhecer os presentes e futuros problemas, e para as tomadas de decisões nessa esfera. Desse modo, é possível a partir de dados de trânsito georreferenciados e, utilizando recursos computacionais, desenvolver uma ferramenta relevante para análise da emissão de poluentes?

A partir do cenário apresentado, pretende-se obter índices de poluentes derivados do tráfego veicular em tempo real para caracterização do nível de poluentes nas principais vias do Distrito Federal e conhecer os pontos críticos de poluentes a partir da análise espacial do tráfego e da emissão esperada para diferentes veículos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O presente trabalho tem como principal objetivo utilizar o sistema de informações geográficas como uma plataforma de apoio a gestão inteligente da qualidade do ar (SIGArDF) no Distrito Federal, fundado em informações coletadas pelo órgão regulador de trânsito.

1.2.2 Específicos

- Definir os componentes dos dados e informações do SIGArDF;
- Identificar os indicadores de qualidade do ar das vias para o SIGArDF;
- Aplicar SIGArDF para avaliar a qualidade ambiental das vias.

1.3 Metodologia

O presente trabalho seguiu as seguintes etapas de execução:

Etapa 1. - Revisão Sistemática da Literatura. Levantamento de referências bibliográficas de temas relevantes para a assunto discutido, dos temas: Cidades inteligentes; Big Data; Sistemas Inteligentes de Transporte; Sistema de apoio a gestão e Sistemas de Informações Geográficas; e, Poluição Veicular Urbana.

Etapa 2. - Definição dos componentes do sistema SIGArDF. Escolha do funções e principais ferramentas auxiliares;

Etapa 3. - Montagem do sistema o SIGArDF utilizando SIG;

Etapa 4. - Teste do SIGArDF para o caso de Brasília DF;

Etapa 5. - Análise dos resultados; comparação com índices de referência e conclusão.

1.4 Justificativa

O uso de tecnologia tornou-se indispensável para tomada de decisão, tornando-se, muitas vezes, o principal objeto para a gestão de cidades. Não sendo diferente nos sistemas de transporte o uso de tecnologia e a coleta e análise dos dados ajudam na mobilidade e nas condições de tráfego urbano. Dessa forma, o presente é motivado pelos seguintes fatores:

O avanço da tecnologia possibilitou a massificação de tecnologias como a internet e o GPS, dessa forma, facilitou-se a coleta de dados que ajudam a entender fenômenos urbanos. O tratamento e análise desses dados podem promover avanços significativos comparado a facilidade de sua obtenção.

A criação de sistemas e ferramentas e sistemas que promovam a melhoria da mobilidade urbana proporciona economia direta e indiretamente. De acordo com Dirks e Keeling (2009) os congestionamentos causam prejuízos de 1% a 3% do PIB nos países em desenvolvimento, com emissões nocivas.

Dessa forma, vê-se a relevância no desenvolvimento de políticas e mecanismos que promovam o desenvolvimento e otimização dos meios de transporte.

1.5 Estrutura

O presente trabalho segue as etapas de acordo com a estrutura do seguinte fluxograma:

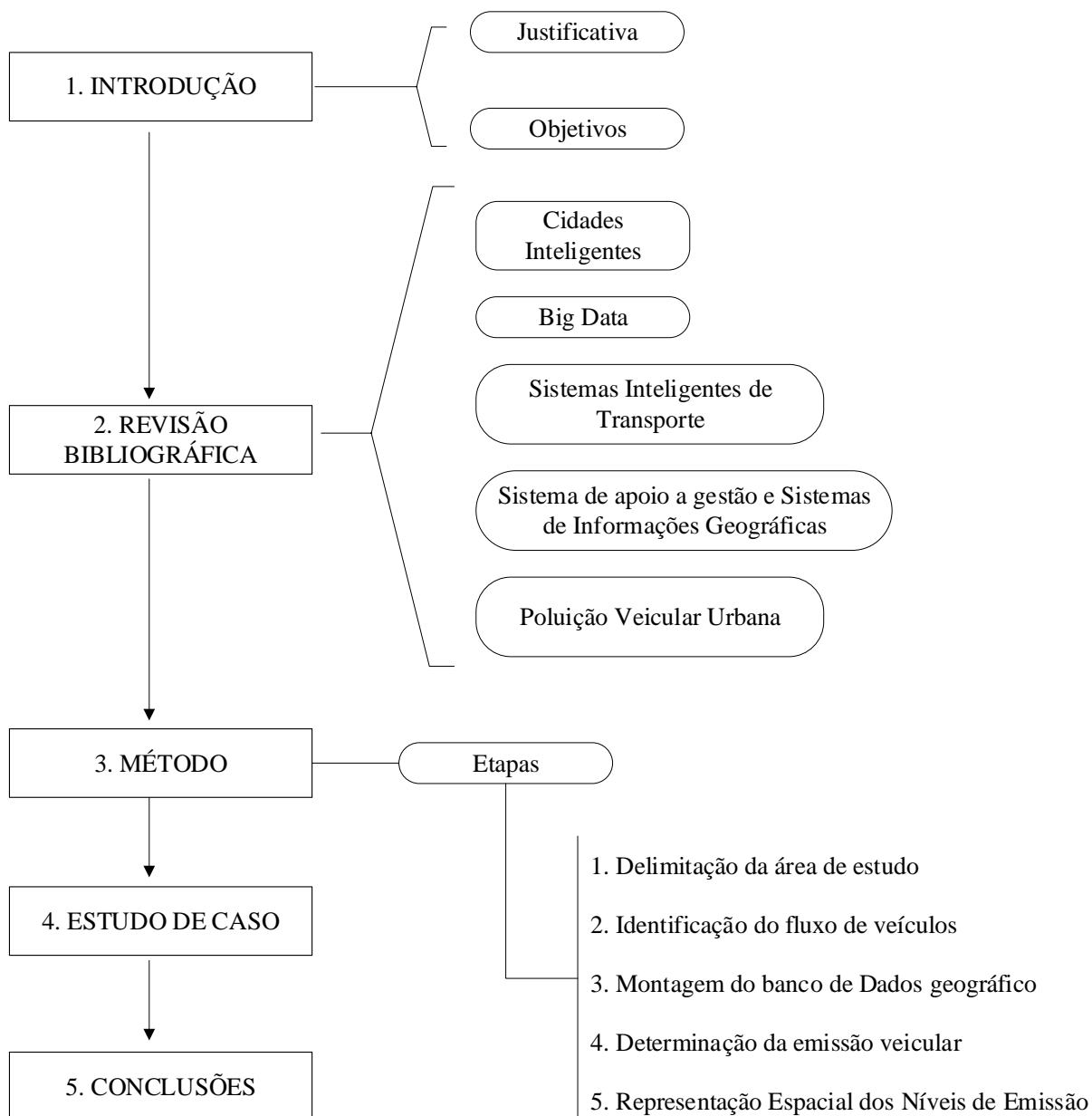


Figura 1 Estrutura do trabalho

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada com intuito de levantar os principais conceitos e definições dos temas relacionados com os objetivos do trabalho. Dessa forma foram pesquisadas publicações relacionadas ao uso da tecnologia para melhorar a qualidade do transporte urbano e como a poluição do ar impacta a vida nas grandes cidades. A partir desses eixos de pesquisas dividiu-se a revisão em cinco diferentes tópicos, são eles: Cidades inteligentes; Big Data; Sistemas Inteligentes de Transporte; Sistema de apoio a decisão; Sistemas de Informações Geográficas e Poluição Veicular Urbana.

2.1 Cidades inteligentes

O crescimento populacional e o inchaço dos grandes centros urbanos elevam a dificuldade de gestão de serviços urbanos, como na geração de energia, preservação de recursos naturais, transportes eficientes, educação, saúde, segurança e alimentação. A partir desse cenário o uso de tecnologias tornam-se indispensáveis na logística urbana.

As cidades Inteligentes aparecem como uma alternativa para solução dos principais problemas urbanos, uma vez que utiliza tecnologia de informação e comunicação, sendo capazes de gerir de forma eficiente a infraestrutura e os serviços públicos oferecidos.

A noção geral acadêmica e multidisciplinar de *Smart City* congrega temas como: governança, vida em sociedade, mobilidade urbana, uso intensivo de dados e tecnologia, preocupação ecológica, usos e produção sustentável, utilização com finalidade pública das redes sociais, evidentemente com implicações nos estudos da economia e suas variações mais atuais como: economia criativa, economia circular, economia colaborativa.

Nos últimos anos o uso da tecnologia na administração de cidades ganhou destaque em algumas cidades brasileiras, como no Rio de Janeiro que conta com o centro de operações Rio (COR), inaugurado em 2012, tem a função de monitorar centros estratégicos da cidade integrando órgãos e agências governamentais.

De acordo com o que foi abordado, nesse capítulo serão apresentados conceitos referentes a cidades inteligentes e como o uso do *Big Data* pode ser aplicado para gestão em grandes cidades.

2.1.1 Smart Cities

Os conceitos relativos a *Smart Cities* ou Cidades Inteligentes abrangem diversas abordagens na literatura. Sua definição pode assumir diferentes perspectivas de acordo com diferentes autores.

Kitchin (2014) descreve *Smart Cities* como cidades que cada vez mais são compostas e monitoradas por computação e que a governança é impulsionada pela inovação, criatividade e empreendedorismo. Sendo essas cidades instrumentadas com dispositivos digitais e infraestrutura que produz “big-data”, permitindo a análise em tempo real da vida na cidade e governança urbana tecnocrática.

Para Schonberger e Cukier, (2013) cidade inteligente é a priorização da captura e análise de dados como um meio para sustentar o desenvolvimento de políticas baseadas em evidências, decretando novos modos de governança tecnocrática, capacitando os cidadãos por meio de informações abertas, transparentes e estimulando a inovação econômica e crescimento.

Os dados são, portanto, visto como material constituinte essencial para realizar uma visão inteligente da cidade. Tais dados são tratados objetivamente e vistos como medidas neutras que são livres de ideologia política, fornecendo assim evidências empírica robusta para políticas e práticas (SCHONBERGER E CUKIER, 2013).

A noção de uma *Smart City* refere-se ao desenvolvimento da economia do conhecimento para o desenvolvimento de uma região (KOURTIT et al., 2012). Nesse sentido uma cidade inteligente é aquela que o governo está impulsionado pela inovação, criatividade e empreendedorismo (HOLLANDS, 2008).

Para Neirotti *et al.* (2014) o conceito de *Smart City* como um meio para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos tem ganhado cada vez mais importância nas agendas das lideranças políticas. No entanto, uma definição compartilhada de *Smart City* não está definida e é difícil identificar tendências globais comuns.

É possível ainda encontrar na literatura diferentes termos para definir conceitos iguais ou particulares de uma cidade inteligente como: ‘wired cities’ (DUTTON *et al.*, 1987), ‘cyber cities’ (GRAHAM e MARVIN, 1999), ‘digital cities’ (ISHIDA e ISBISTER, 2000), ‘intelligent cities’ (KOMNINOS, 2002), e ‘sentient cities’ (SHEPARD, 2011). Todos os termos

apresentados referem-se a relação entre as Tecnologias da informação e comunicação e o urbanismo, o termo *Smart City* ganhou mais força na academia e no mundo corporativo sendo amplamente utilizado atualmente (NIRSA, 2013)

Nesse contexto podemos resumir o conceito de *Smart City* ao uso inteligente da tecnologia para melhoria da gestão de serviços urbanos associada como uma infraestrutura adequada. A tecnologia mencionada está diretamente atrelada ao uso de dados dispostos em grandes bancos de informações denominado *Big Data*. O avanço da tecnologia e a modernização das cidades possibilitou uma evolução no uso de dados para monitoramento e processamento de informações em tempo real.

2.1.2 Mobilidade em Cidades Inteligentes

A caracterização de uma cidade inteligente passa por diferentes aspectos dentro do contexto urbano, abrangendo-se por diferentes temas como mobilidade inteligente, localização de dispositivos computacionais móveis, monitoramento inteligente de recursos naturais, prédios inteligentes entre outros. De acordo com o foco e objetivo do presente trabalho serão abordados a seguir temas relacionados a mobilidade e transporte nas cidades inteligentes.

Algumas das tendências no âmbito de cidades inteligentes são: a otimização nos serviços de localização de veículos e pessoas, a instalação inteligente de pontos de acesso para veículos em centros urbanos, os serviços de assistência aos motoristas e a detecção colaborativa de colisões e outros eventos. Uma outra vertente é a da construção de veículos autônomos que dispensam a presença de motoristas.

As ideias oriundas de cidades inteligentes voltadas para a mobilidade e transporte são dispostas em um campo de estudo e aplicações denominado Sistemas Inteligentes de Transportes. A bibliografia referente a esse tema, assim como suas aplicações, será discutida nos próximos capítulos.

2.1.3 Níveis de uma Cidade Inteligente

Segundo Komninos (2006), a caracterização de uma cidade inteligente passa por 3 diferentes níveis integrados que trabalham de forma complementar. São eles:

Nível Básico: Representado pelo aglomerado produtivo. Esse nível reúne a classe criativa da cidade que determina a forma com que o trabalho é organizado e como a cidade se desenvolve. A proximidade no espaço físico é um importante fator nesse nível, facilitando a troca de conhecimentos entre produtores, fornecedores e prestadores de serviços

Segundo Nível: Formado por Mecanismos institucionais que regulam os fluxos de conhecimento e cooperação na aprendizagem e inovação. Baseada nas instituições capazes de gerenciar mecanismos de capital social e inteligência coletiva que orientam a compatibilização das competências e habilidades individuais.

Terceiro Nível: Composto por tecnologias da informação e infraestrutura de comunicação, capaz de garantir ferramentas digitais e espaços para a aprendizagem e inovação. Baseada na inteligência presente no espaço físico da cidade e capaz de identificar/ solucionar problemas da população.

Diante do exposto esquema geral de funcionamento e aplicabilidade de uma cidade inteligente pode ser resumido de acordo com a figura 2:

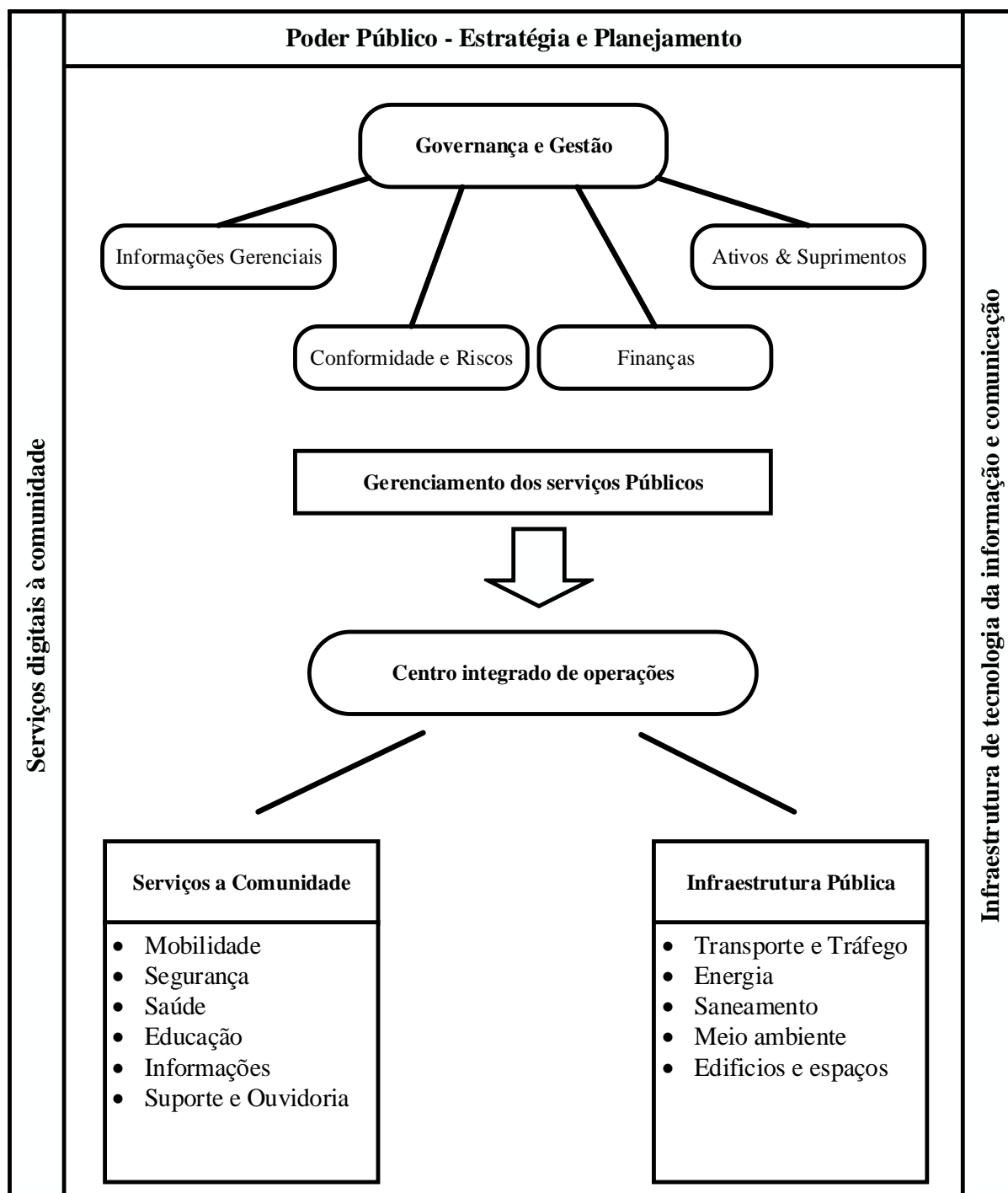


Figura 2 Arquitetura de sistemas de gerenciamento para cidades inteligentes

Fonte: adaptado de Weiss (2013).

2.2 Big Data

Cidade inteligente é a priorização de captura e análise de dados como um meio para sustentar o desenvolvimento de políticas pública, decretando novos modos de governança tecnocrática e fornecendo aos cidadãos por meio de informações abertas, transparentes e estímulos a inovação econômica e crescimento. Os dados são, portanto, visto como material constituinte essencial para realizar uma visão inteligente da cidade (AL NUAIMI *et al.*, 2015).

Os dados são gerados a partir de diversas fontes, resultando na formação do *Big Data*. As fontes de dados são geradas a todo momento e por toda parte, smartphones, computadores, sensores, câmeras, GPS e pessoas (MICHALIK *et al.*, 2015).

O termo *Big Data* é utilizado para um conjunto de dados que excede as capacidades de processamento de infraestrutura de banco de dados tradicional (KHAN *et al.*, 2014). *Big Data* é um termo popular usado para descrever o crescimento exponencial, disponibilidade e uso da informação, estruturadas e não estruturadas. Os dados são provenientes de todos os lugares; sensores climáticos, postagens em mídias sociais, fotos, vídeos e sinal do GPS entre outros (MICHALIK *et al.*, 2015)

Segundo Mayer-Schonberger e Cukier (2013) tais dados são fornecidos de maneira objetiva, e neutra, sendo livres de ideologia política, com o peso dos dados que falam uma verdade inerente sobre relações sociais e econômicas e, assim, fornecem evidência empírica robusta para políticas e práticas.

Muitas prefeituras já utilizam análises em tempo real para gerenciar os aspectos de como funciona uma cidade e é regulamentado. Talvez o exemplo mais comum refere-se a circulação de veículos em torno de uma rede de transporte, em que os dados a partir de uma rede de câmaras e transponders são alimentados de volta para um hub central de controle para controlar o fluxo de tráfego e para ajustar as sequências sinal de trânsito e os limites de velocidade e para automaticamente administrar penalidades para infrações de trânsito (DODGE e KITCHI, 2007).

Os sistemas gerados pelo *Big Data* irão armazenar e processar informações de uma cidade inteligente a fim de produzir informações relevantes para melhorar diferentes serviços e ajudar na tomada de decisões. Dessa forma a coleta e armazenamento e sua interação com outros elementos da cidade podem ser resumidos a partir do seguinte quadro:

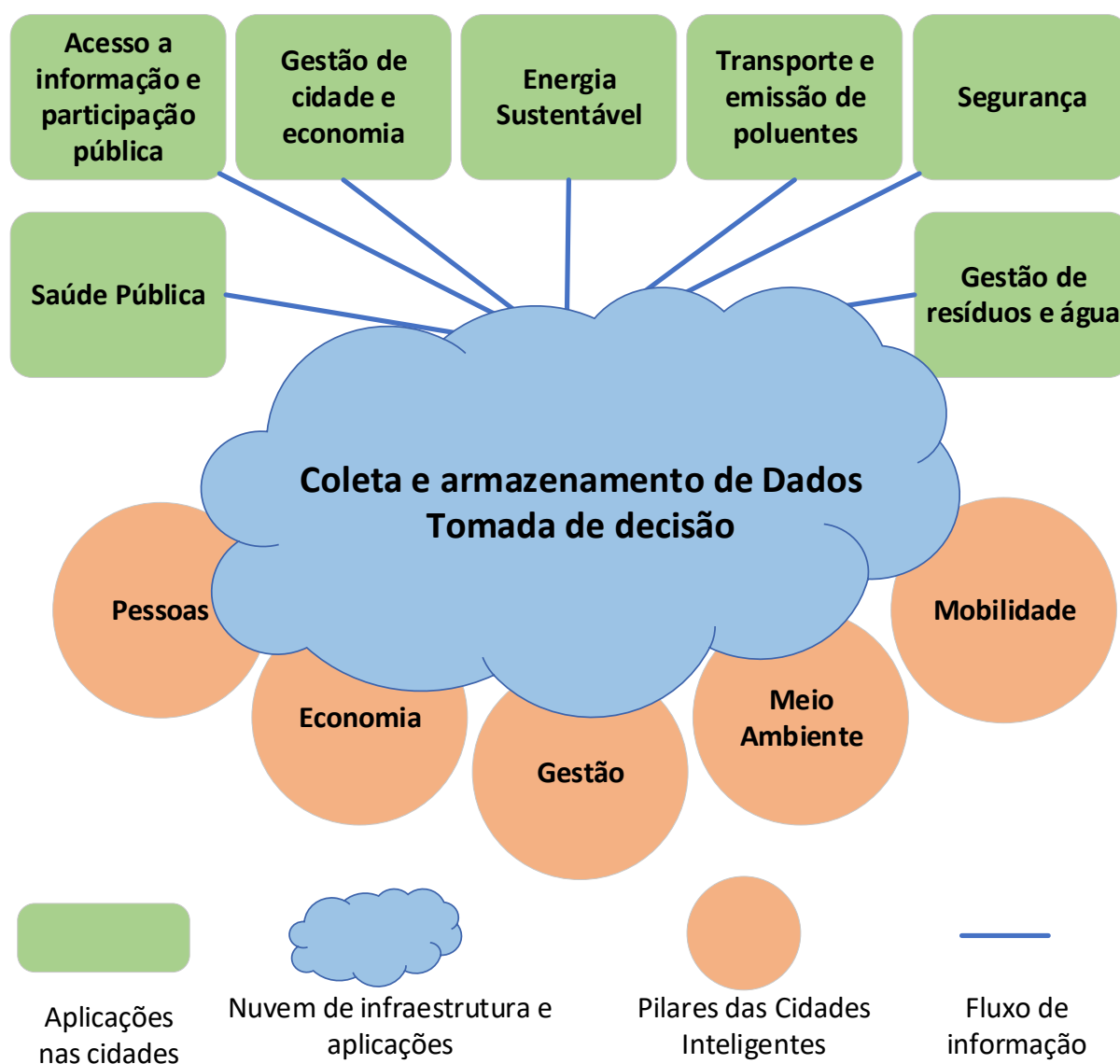


Figura 3 Arquitetura de sistemas de gerenciamento para cidades inteligentes

Fonte: adaptado de Khan Z, Anjum A, Kiani (2013).

De acordo com Fan e Bifet (2013) o gerenciamento de *Big Data* passa pelos 5 “V”s, a partir deles a partir deles são descritas as principais características e funcionalidades do *Big Data*. São eles:

1. Volume: Refere-se à quantidade de dados criados a partir de uma determinada fonte.
2. Velocidade: Refere-se à velocidade de geração, armazenagem e processamento e análise dos dados.
3. Variedade: Refere-se aos diferentes tipos de dados criados
4. Variabilidade: Refere-se a forma e a constante mudança na estrutura de dados

5. Valor: Refere-se a vantagem que se possa ter a partir de uma boa coleta de dados.

Tais parâmetros ajudam a caracterizar e entender as redes de dados, identificando diversas possibilidades de usos e aplicações do *Big Data* tendo como fator limitante a tecnologia e ferramentas disponíveis. Seu entendimento, capacidades e limitações, é essencial para aplicação nos sistemas constituintes de uma cidade inteligente, sendo necessário para isso altos níveis de sofisticação em termos de recursos, aplicações e pessoas capacitadas.

Para Bertoti e Choi (2013), as oportunidades para alcançar os benefícios tecnológicos estão disponíveis; porém, elas exigem, investimentos em mais tecnologia, mais esforços de desenvolvimento e utilização eficaz do *Big Data*. Há também a necessidade de definir políticas para garantir a precisão dos dados, de alta qualidade, segurança, privacidade e controle.

Diante disso vê-se a importância da adoção de um sistema inteligente em diferentes setores de uma cidade, porém para alcançá-lo é necessário primeiramente o emprego de políticas de incentivo a tecnologia e capacitação pessoal.

2.3 Sistemas Inteligentes de Transporte

A mobilidade urbana é um problema enfrentado por grande parte dos grandes centros urbanos, não sendo diferente no Brasil, não encontrar meios de melhoras significam perdas significativas de tempo durante os deslocamentos, consumo excessivo de combustível e ocorrência de doenças provocadas pelo nível de poluentes e stress. Estima-se que congestionamentos causam prejuízos de 1 a 3 por cento do PIB nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, com emissões nocivas (Dirks e Keeling, 2009).

Como solução para minimizar tais problemas surgiram os Sistemas Inteligentes de Transportes ou ainda ‘Intelligent Transport System’ (ITS). Para Chowdhury, (2013) tais sistemas referem-se ao uso de informação e tecnologia da comunicação em transportes, utilizam processamento de dados a fim de: melhorar a mobilidade de pessoas e bens; reduzir o tráfego e congestionamentos; cumprir as metas e os objetivos da política de transportes como a gestão de medidas prioritárias de transporte público.

Nesses sistemas as vias de tráfego e os veículos representam componentes dentro dos ITS, provendo a comunicação cooperativa entre veículos e com a infraestrutura e cooperando

para a melhoria do fluxo de veículos nas grandes cidades. Essa tecnologia deve ter habilidade para: (i) detectar a presença e identificar os veículos por meio de sensores ou GPS; (ii) transmitir e receber grandes quantidade de informações de modo seguro; (iii) processar grandes quantidades de informações; (iv) utilizar essas informações em tempo real para melhorar as condições de tráfego (SUSSMAN, 2000).

Nesse contexto, soluções de inteligência, com o uso de comunicação podem contribuir para o sucesso, melhorando as condições de mobilidade nos grandes centros urbanos. Tais soluções proveem aplicações que viabilizam o controle e gerenciamento do tráfego, com serviços que vão desde um controle mais assertivo dos horários e rotas de transporte público até a sincronização inteligente de semáforos. Estes serviços compõem o arcabouço dos Sistemas de Transporte Inteligente (QU et al. 2010).

De acordo com o abordado e a partir da necessidade apresentada, nesse capítulo serão retratados os principais conceitos acerca dos sistemas inteligentes de transportes e como eles podem interagir com as outras áreas pertencentes a uma cidade inteligente.

2.3.1 Transporte Urbano e ITS

O crescimento desordenado das grandes cidades trouxe consequências para diversas áreas de interesse da população como: habitação, meio ambiente, serviços públicos e mobilidade. Tratando-se da mobilidade o número excessivo de veículos circulando causam congestionamentos e sequelas na qualidade de vida. No Distrito Federal estima-se que se gasta 34,9 minutos no deslocamento médio diário casa-trabalho (PNAD, 2012), o que reforça a importância do investimento de inteligência em mobilidade e transporte público.

A partir do quadro semelhante em diferentes centros, soluções por meio de sistemas Inteligentes ganharam espaço na literatura e em grandes cidades do mundo. De acordo com Cunha *et al.* (2017) ITS não é proposto apenas para melhorar as condições do tráfego de veículos, mas também tem a intenção de tornar o setor de transportes mais seguro, mais sustentável e eficiente, evitando os inconvenientes causados pelos congestionamentos dos tráfegos urbanos e efeitos dos problemas climáticos sobre o tráfego.

Para Cunha *et al.* (2017) Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) utilizam dados, comunicação e computação para prover serviços e aplicações que podem resolver diversos problemas de transporte nas grandes cidades atuais. Esses sistemas além de disponibilizar serviços para gerenciar e dar maior segurança as pessoas no trânsito, também proveem serviços de conforto para os motoristas e passageiros como o acesso as redes sociais e serviços de stream de vídeo durante as viagens.

Os Sistemas de Transporte Inteligentes têm como objetivo melhorar a segurança e mobilidade dos transportes, como também o aumento da produtividade das pessoas e diminuição dos efeitos nocivos do trânsito. Essa melhoria é alcançada por meio da integração de tecnologias de comunicação nos veículos e na infraestrutura da cidade (CUNHA *et al.*, 2017).

Conforme apresentado, a melhoria da mobilidade por meio da tecnologia acarreta em desenvolvimento na qualidade de vida dos cidadãos beneficiados, uma vez que com transporte efetivo e limpo ganha-se tempo para praticar outras atividades, diminuem as exposições diárias a poluição sonora e do ar e economiza-se dinheiro a partir da economia de combustível e de horas em congestionamentos.

2.3.2 Estrutura e Arquitetura ITS

Para Chowdhury (2012), ITS tem a capacidade de resolver alguns dos mais complexos problemas que afetam o transporte urbano. Em geral aplicações de ITS tem a capacidade de: melhorar o fluxo de tráfego e reduzir congestionamentos; detectar e responder rapidamente a possíveis incidentes; melhorar a qualidade do ar localmente; minimizar os impactos de fatores ambientais, rodoviários e humanos que contribuem para acidentes.

Para alcançar tais objetivos as aplicações em ITS possuem componentes internos comuns divididos em três categorias de acordo com sua funcionalidade. Dessa forma, segundo Sussman (2000), divide-se em (i) os componentes físicos que constituem o sistema, (ii) os operadores que fazem o sistema funcionar e (iii) os planos de operação que permitem gerir o funcionamento do sistema. Dessa forma:

Componentes físicos: As infraestruturas (incluindo vias, terminais e estações); os veículos; o equipamento (incluindo os acessórios de sistema); os sistemas de acionamento; os combustíveis e os sistemas de localização, controlo e comunicação.

Operadores: Trabalho (realizado por pessoas); trabalho organizado (sindicatos); gestão do sistema (gestão da informação e do conhecimento); competição entre transportes e comunicações (evolução das comunicações que permitem novas formas de trabalho e negócio enquanto as pessoas viajam); planeamento estratégico (planeamento de capitais e investimentos na área dos transportes); gestão das operações (gestão do funcionamento do sistema); tensão entre operações e marketing (orientação ao cliente/custo); gestão da manutenção (infraestruturas e veículos); investigação operacional (quantificações analíticas do sistema) e administração do sistema de transporte (similar à administração de uma empresa).

Planos operacionais: Planos de escalonamento (chegadas e partidas); seleção de tripulações (para os veículos de transportes); distribuição do fluxo (balanceamento do tráfego); padrões de conexão (das vias e dos meios de transporte); negociação do custo/nível de serviço (sob o ponto de vista da empresa); planeamento de contingências (previsão de falhas e formas de as ultrapassar).

Os componentes externos representam a interação dos componentes internos com o meio que estão inseridos. Dessa forma são incluídos: o governo (como primeira entidade promotora do sistema de transporte); competição (como fator de evolução das empresas ligadas ao setor); a comunidade financeira (como fonte de financiamento); a indústria fornecedora (de infraestruturas, veículos e equipamentos); os acionistas; o público em geral e, o cliente.

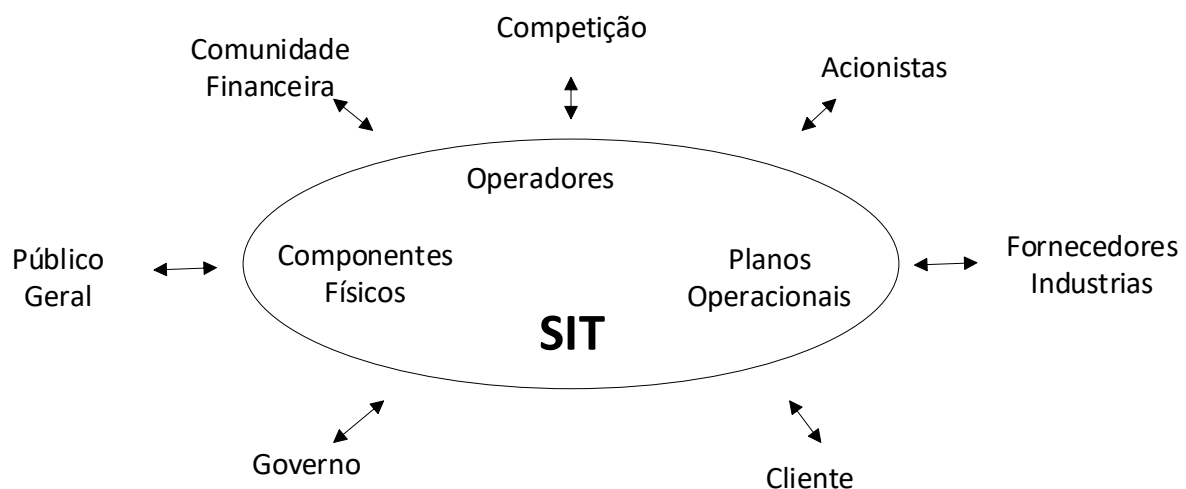


Figura 3 Componentes Sistema inteligentes de transporte

Segundo Sistemas Inteligentes de Transportes – ANTP (2012) o processo de implantação de um projeto ITS pode ser resumido pela matriz lógica que tem como finalidade ajudar as cidades, regiões e países do futuro a tomar o rumo de uma infraestrutura de transportes mais inteligente, e orientar os setores relevantes do público ao longo das diferentes etapas de identificação, desenho, implementação e implantação de um projeto de ITS. Essa matriz é dividida em três pilares, da seguinte maneira:

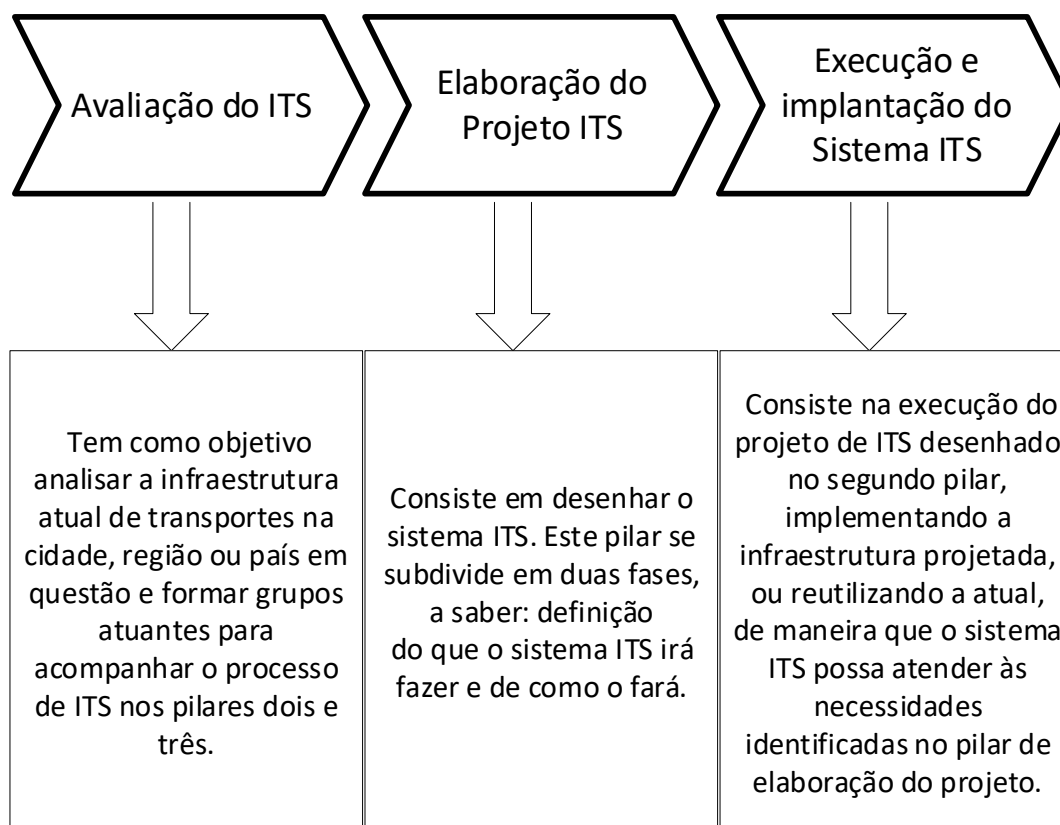


Figura 4 Etapas projeto ITS
Fonte: ANTP (2012)

A implementação de projetos ITS em países em desenvolvimento esbarram em problemas que dificultam ou impossibilitam a adoção de tecnologias do tipo em diversas cidades. Segundo Sistemas Inteligentes de Transportes – ANTP (2012) tais entraves são:

- Malha viária subdesenvolvida;
- Sérias restrições orçamentárias;
- Crescimento populacional e urbano descontrolado;
- Escassez de recursos humanos e/ou falta de competências para manutenção e operação. Falta de interesse do governo central;

- Deficiências na infraestrutura necessária para implantar muitas das soluções de ITS, como banda larga, cobertura de telefonia celular e de fibra ótica, gerenciamento do espectro de radiofrequência;
- Inexistência de dados e de processos de prospecção de dados e de tomada de decisões

Apesar das dificuldades de implantação, a ampla utilização e demanda por soluções inteligentes no campo dos transportes, nos países desenvolvidos, proporcionou uma necessidade de padronização de sua arquitetura e interação dos seus componentes. Dessa forma destaca-se a arquitetura norte-americana (National ITS Architecture) sugerida pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos.

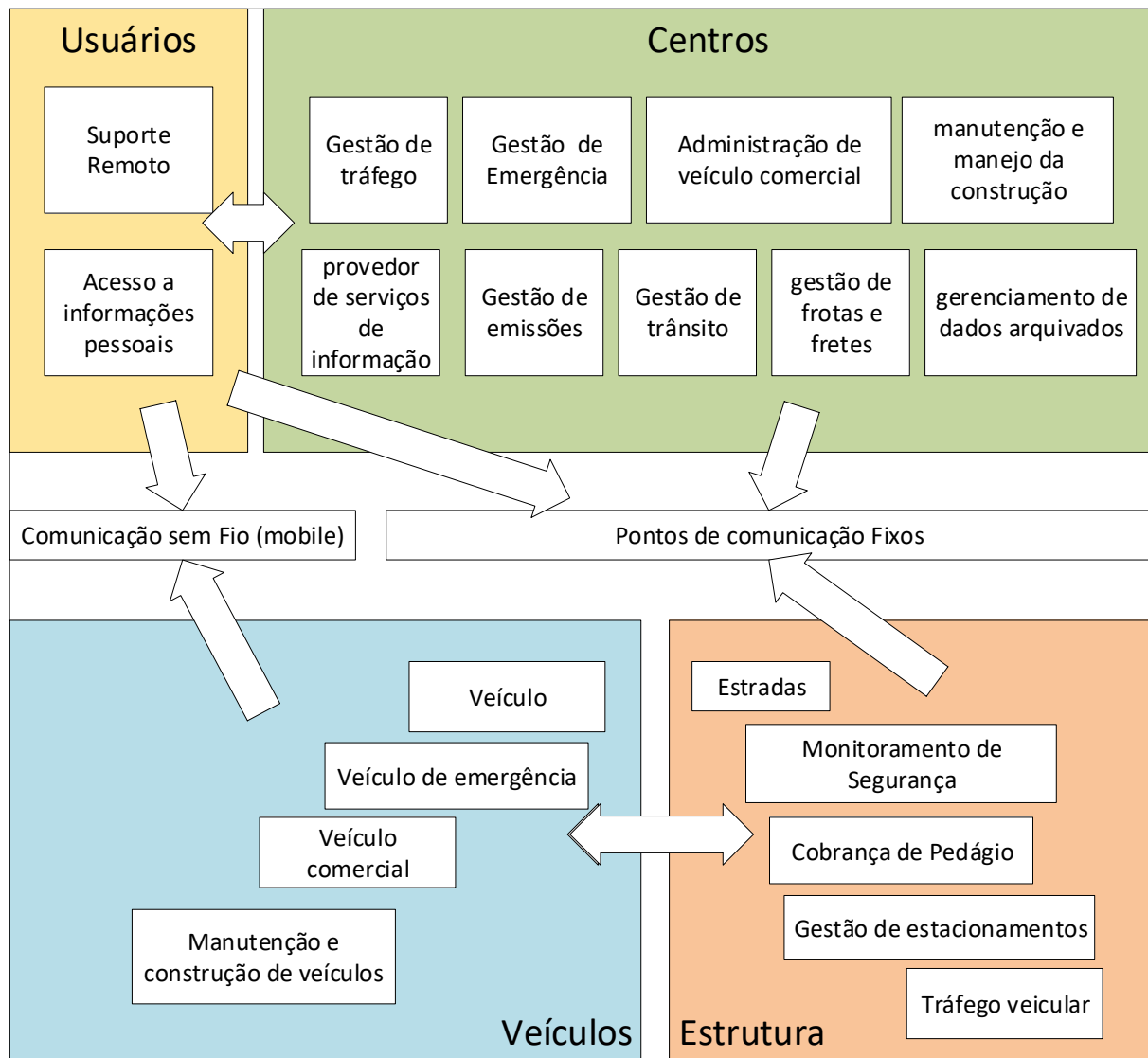


Figura 5 Arquitetura lógica básica

Fonte: adaptado de (ITSA, 2010)

2.3.3 Aplicações

As aplicações dos ITS podem englobar diferentes abordagens dependendo dos objetivos que se deseja alcançar. Dessa forma, de acordo com Cunha *et al.* (2017), destacando-se as aplicações relacionadas aos objetivos do trabalho, são divididas em:

Aplicações de Segurança: Tem como objetivo avisar o condutor sobre a possibilidades de colisões eminentes com outro veículo ou com algum obstáculo à frente. Em alguns cenários, o condutor precisa reagir tomando uma decisão rápida a fim de evitar a colisão. Por esse motivo, esse tipo de aplicação apresenta severas restrições de delay e confiabilidade. Alguns tipos de aplicações existentes nesta classe são: alerta de perigos na rodovia, colisões emitentes, acidentes na pista e obras a frente. Todos os serviços devem trabalhar de forma a evitar colisões entre os veículos e acelerar o acesso ao socorro.

Aplicações de eficiência de tráfego: Tem como objetivo a melhoria dos sistemas de transporte por meio da integração de tecnologias da informação, comunicação e sensoriamento. Na prática, coletam dados relacionados ao tráfego a partir de fontes heterogêneas, utilizam vários tipos de algoritmos para sumarizar, agregar e fundir esses dados visando a geração de informação útil e, finalmente, utilizam essa informação para conceber aplicações e serviços para os usuários com o objetivo de detectar, controlar e reduzir os congestionamentos.

Aplicações de Entretenimento e Conforto: Tem como objetivo tornar a viagem dos passageiros do veículo mais confortável reduzindo a carga de trabalho do motorista. Nesse tipo de aplicações, informações sobre tráfego nas ruas/avenidas/rodovias são transmitidas pelos elementos da rede, que podem ser os veículos, sensores instalados em rodovias ou semáforos, pontos de acesso ou por dispositivos moveis de passageiros/pedestres. Após a coleta dessas informações, estas são disseminadas para os veículos.

Aplicações de Sensoriamento Urbano: São aquelas que buscam extrair, dos dados de sensores veiculares, informações sobre o contexto no qual as medidas foram feitas. Dessa forma usam dados de múltiplos sensores e veículos para construir imagens de variáveis do ambiente.

2.4 Sistema de apoio a gestão e Sistemas de Informações Geográficas

A aplicação de sistemas inteligentes de transportes assim como em outras estruturas necessita de uma interface que apresente seu funcionamento de forma lógica para seus usuários e para aqueles responsáveis pela manutenção. A partir dessa necessidade, Sistemas de Informações Geográficas – SIG são altamente recomendáveis e utilizados para as operações que envolvam recursos tecnológicos associados a eventos espacialmente identificáveis.

O SIG é uma base de dados digital, de propósito especial, no qual um sistema de coordenadas espaciais é o meio primário de referência para armazenar e acessar as informações, requerendo um dispositivo de entrada dos dados, um sistema de armazenamento e recuperação, um sistema de transformação e análise, e um dispositivo de saída (MENEGUETTE, 2003).

De acordo com as ideias apresentadas, nesse capítulo serão definidas a estrutura e os principais aspectos encontrados na literatura a respeito dos Sistemas de Informações Geográfica, assim como sua aplicação em sistemas inteligentes de transportes pode ser realizada.

2.4.1 Estrutura SIG

Sistemas de Informações Geográficas – SIG são sistemas aplicados em operações associadas a recursos tecnológicos que possuam eventos espacialmente identificáveis. Possui ampla aplicação, sobretudo as que possuem identificação, rastreamento, análise espacial, levantamento e tratamento de dados. Foram levantadas as seguintes definições na literatura pesquisada.

O termo Sistemas de Informação Geográfica - SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por meio de sua localização espacial (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Sistemas de Informação Geográfica são sistemas de informação construídos especialmente para armazenar, analisar e tratar dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente

e indispensável para tratá-los. Dados geográficos são coletados a partir de diversas fontes e armazenados via de regra nos chamados bancos de dados geográficos (CÂMARA *et al.*, 1996).

Segundo Church (2002) e Fleury, Wanke e Figueiredo (2000), os Sistemas de Informações Geográficas podem ser definidos como uma coleção organizada de hardware, software, pessoal qualificado e dados geográficos, com o objetivo de gerenciar banco de dados, efetuando operações de inserção, armazenagem, tratamento, remoção, atualização, análise e visualização de dados, tanto espaciais como não espaciais, funcionando como uma valiosa ferramenta em estudos de planejamento e gerenciamento.

Para Farkuh Neto e Lima (2006); Boroushaki e Malczewski (2010) define-se SIG como uma ferramenta que permite tratar dados georreferenciados e alfanuméricos para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão, como por exemplo, a definição do melhor roteiro de entregas a ser seguido.

As diferentes definições refletem a multiplicidade de usos e visões, sendo possível indicar as principais características de SIGs:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de tratamento e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Segundo Câmara e Queiroz (2004) a estrutura pode ser dividida em níveis hierárquicos, a partir do mais próximo do ao usuário até o mais interno do sistema, de acordo com os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

A interação dos componentes e os níveis hierárquicos são demonstrados graficamente na seguinte figura:

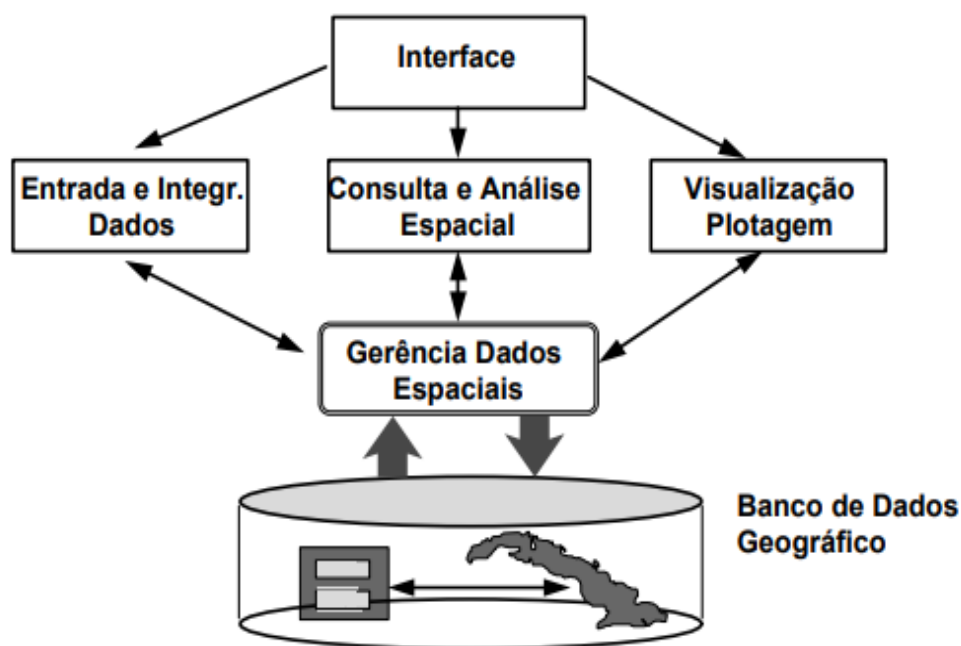


Figura 6 Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica
Fonte: Câmara e Queiroz (2004)

Os dados coletados são armazenados e processados em um banco de dados internos, que trabalham de forma hierárquica seguindo os seguintes níveis de acordo com Câmara (1996).:

- Nível externo: nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado;
- Nível intermediário: Define os mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída);
- Nível interno: Um sistema de gerencia de banco de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

A busca por gerenciamento e processamento de dados por meio de SIG's intensificou-se no final do século XX e sobretudo no século XXI, tal crescimento é explicado por 6 fatores de acordo com Church (2002):

- 1) Existe uma gama de softwares SIG disponibilizados a partir de vendedores comerciais e universidades;
- 2) Aumento da capacidade dos computadores em armazenar e recuperar grandes quantidades de dados, em tempos e custos razoáveis;

- 3) Impressoras estão mais sofisticadas e rápidas, produzindo saídas de alta resolução e qualidade;
- 4) Mais disponibilidade de dados geográficos a partir de empresas privadas e agências governamentais, a custos acessíveis;
- 5) A expansão do uso do sensoriamento remoto, o que requer sistemas capazes de lidar com largas quantidades de dados;
- 6) O surgimento do GPS (Global Positioning System), que facilitou a coleta de dados espaciais, a custos relativamente baixos e alta precisão.

2.4.2 SIG e Transporte Urbano

Dentre as diversas aplicações do SIG destaca-se o uso dessa ferramenta nos órgãos responsáveis pelo transporte urbano, em manutenção de vias, planejamento, quantificação de impactos gerados pelo transporte e controle de qualidade do ar e poluentes. Os Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao Transporte (SIG-T) constituem uma classe especial dos SIG, sendo aplicados na área de planejamento e operação de transportes.

Segundo Mantovani (2003), os sistemas de informações geográficas para transportes, SIG-T, são sistemas adaptados com ferramentas específicas para auxiliar na resolução de problemas na área de transportes e trânsito. Possuem funções de modelagem e análise de dados que não são completamente preenchidas pela maioria dos SIG's comuns.

Dentre os Softwares SIG mais conhecidos e utilizados para desenvolver soluções nas áreas de transporte e trânsito pode-se destacar: TransCAD, ArcGIS e QGIS observados em estudos utilizados para estudo deste capítulo.

2.5 Poluição Veicular Urbana

O crescente crescimento da frota de veículos no Brasil acarreta em consequências diretas a mobilidade urbana, qualidade de vida e no meio ambiente. Congestionamentos e o aumento no tempo de deslocamento são temas recorrentes e afetam diretamente o dia a dia dos cidadãos. Outro resultado, com efeitos silenciosos, é a poluição do ar nos arredores dos centros urbanos.

A poluição gerada pelo do tráfego de veículos no meio urbano é um problema recorrente nas grandes cidades e que se agrava nos centros de grandes cidades. Tal problema afeta diretamente a vida das pessoas causando efeitos prejudiciais à saúde humana, atacando os sistemas respiratório e circulatório, sendo também uma das causas do câncer de pulmão (WHO, 1999).

A preferência pelo transporte individual e a falta de políticas relacionadas ao uso de combustíveis alternativos e de veículos menos poluentes agravam o cenário encontrado nas grandes cidades. Além dos danos locais, combustíveis fósseis são um dos principais causadores do efeito estufa, com o ritmo atual mundial de emissões, a atmosfera vai se aquecer em pelo menos 1,5°C até 2040 (ONU, 2018).

De acordo com o exposto, nesse capítulo serão contextualizados os principais poluentes relacionados aos automóveis, dentro da realidade do Distrito Federal, assim como o impacto deles podem comprometer a saúde de pessoas pertencentes ao meio urbano.

2.5.1 Cenário Local

O Distrito Federal está inserido na maior metrópole Nacional do Centro-Oeste com uma população de 3.039.444 pessoas, atingindo a marca de 3ª maior população entre os municípios brasileiros (IBGE, 2014). Economicamente o Distrito Federal conta com um PIB per capita de R\$ 73971,05 (IBGE 2015), sendo o maior índice do país.

O poder aquisitivo acima da média Nacional assim como a escolha do modelo de transporte urbano contribui para alto número de veículos nas vias urbanas uma vez que a frota de veículos do Distrito Federal atingiu a marca de 1.700.000 veículos (DETRAN-DF, 2017) e continua a crescer.

Em uma cidade com uma densidade demográfica de 444,66 hab/m² (IBGE, 2010), maior do país, a poluição gerada por veículos pode causar um grande impacto na saúde pública. A tabela a seguir caracteriza a frota de veículos do Distrito Federal, observa-se um número de automóveis significativamente maior do que os outros veículos.

Tabela 1 Composição Frota veicular DF

Veículo (Tipo)	Número
Automóvel	1.214.589
Caminhão	23.502
Caminhão Trator	3.175
Caminhonete	116.691
Camioneta	77.623
Micro-ônibus	5.501
Motocicleta	176.768
Motoneta	17.748
Ônibus	12.196
Trator de rodas	596
Utilitários	23.290
Outros	28.003
Total	1.699.682

Fonte: IBGE (2016)

A predileção pelo transporte individual fica evidenciada ao analisar a taxa de motorização em Brasília comparada com a média brasileira e de outros estados, No Distrito Federal cerca de 64% dos domicílios possuem carro ou moto (IBGE 2012), ocupando lugar de destaque entre os estados brasileiros.

O aumento da frota de veículos no Distrito Federal traz consequências relevantes ao meio urbano, sobretudo na produtividade, qualidade de vida e bem-estar social. O impacto mais visível e imediato é o agravamento dos congestionamentos, sobretudo em horários de picos. Outra consequência, não menos relevante, é a elevação da poluição veicular, agravado nos centros urbanos.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) apesar de o ar limpo ser considerado um requisito básico da saúde e do bem-estar humano, a sua contaminação vem sendo uma ameaça à saúde humana em todo planeta. Outros danos causados pelo excesso de veículos nas ruas podem ser destacados como a intensidade dos ruídos e a poluição, porém não constitui o foco deste trabalho.

2.5.2 Transporte e Poluição

Considerando o cenário brasileiro, o transporte rodoviário corresponde a 60% dos deslocamentos urbanos, sendo responsável por 7% das emissões totais de CO₂. Os veículos leves, com menos de 30% de participação no total de viagens, contribuem com metade das emissões desses poluentes. (Inventário de emissões, 2006).

De acordo com o Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Rodoviários de 2011, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, os veículos motorizados lançaram na atmosfera, em 2009, cerca de 170 milhões de toneladas de CO₂. Automóveis e caminhões responderam pelos maiores percentuais de emissões, cada um com cerca de 40% do total. Os dados do estudo mostram que de 1980 a 2009 as emissões de CO₂ cresceram, em média, a uma taxa de 3,6% ao ano, mas as previsões indicam que esse crescimento passe para 4,7% ao ano de 2009 a 2020, muito em função da tendência de aumento vertiginoso da frota de veículos automotores no país.

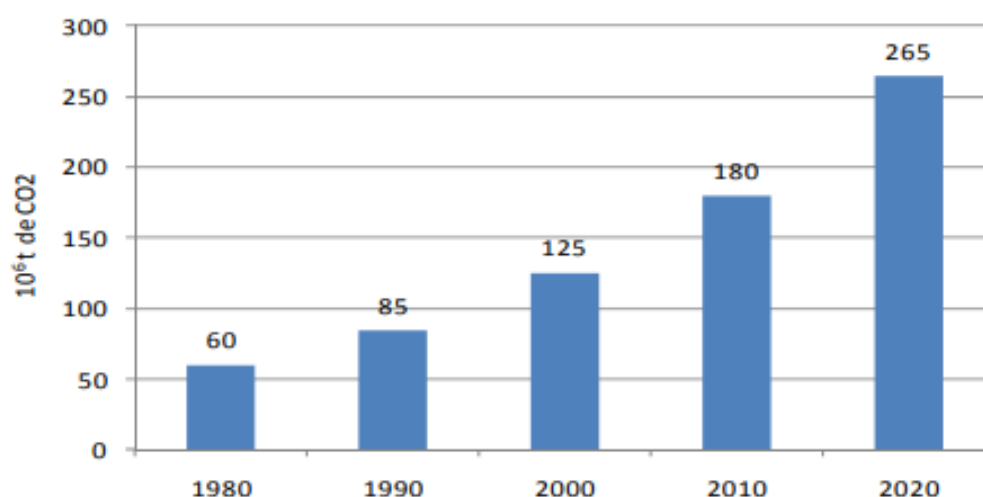


Figura 5 Emissões de CO₂ pelos veículos automotores no Brasil

Fonte: Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas

Fazendo um comparativo entre as emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE entre as principais modalidades de transportes presentes no meio urbano observa-se mesmo emitindo consideravelmente mais poluentes os meios de transportes coletivos mostram-se mais sustentáveis se considerado o volume de passageiros transportada.

Tabela 2 Emissões de CO₂ equivalente (por passageiro e km).

Modalidade de transporte	Emissões por Km	Ocupação média	Emissões/Passageiro km	Índice emissão
	kg CO ₂ /km	Passageiros	kg CO ₂ /Passageiro km*	Metrô=1
Metrô	3,16	900	0,0035	1
Ônibus	1,28	80	0,016	4,6
Automóvel	0,19	1,5	0,1268	36,1
Motocicleta	0,07	1	0,0711	20,3
Veículos Pesados	1,28	1,5	0,8533	243

Fonte: CARVALHO (2015)

2.5.3 Poluentes veiculares

Uma classificação de poluentes veicular possível e adequada para os objetivos do trabalho é por meio dos impactos causados pelos poluentes, dividindo-os em Locais e Globais.

Os poluentes locais causam impactos na área de entorno por onde é realizado o serviço de transporte de Poluentes Globais, por exemplo, os ruídos gerados pelos motores dos veículos e a fuligem expelida pelos escapamentos que se acomodam nas ruas, nos passeios e nas fachadas dos imóveis. Ainda nessa categoria pode-se considerar os poluentes que deslocam de uma região para outra por meio das correntes de ar

Os principais poluentes veiculares locais são o monóxido de carbono (CO); os Hidrocarbonetos (HC), ou compostos orgânicos voláteis (COV); os materiais particulados (MP); os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os óxidos de enxofre (SO_x). Em geral, eles resultam da queima de combustíveis fósseis.

Os poluentes Globais constituem os gases que ao atingir a atmosfera terrestre impactam todo o planeta pelo aquecimento global e efeito estufa. Gases de efeito estufa (GEE), Gases emitidos também por veículos que não causam prejuízos significativos à saúde nos níveis ambientais encontrados, mas contribuem para o fenômeno do aquecimento global. O principal deles é o CO₂ (Cetesb).

Apesar da importância do estudo da emissão desses gases, poluentes globais não constituem o foco principal desse trabalho.

Apesar dos avanços tecnológicos, a poluição atmosférica de origem veicular permanece em destaque devido aos seguintes fatores (Szwarcfiter, 2004):

- Aumento significativo da frota de veículos e de sua utilização;
- Condições de trânsito, cada vez mais congestionado;
- Mau funcionamento de sistemas de controle de emissões reduzindo a eficácia de controle;
- Degradação acelerada de componentes que tem impacto direto na redução das emissões por falha de projeto e/ou uso de materiais inadequados ou, também, por uso indevido do veículo;
- Falta de cuidados na manutenção dos veículos pelos seus proprietários;
- Falta de preparo de considerável número de oficinas de reparação para oferecer serviços de manutenção tecnicamente corretos;
- Retirada proposital dos dispositivos de controle de emissões pelos proprietários dos veículos ou por serviços inadequados de reparação;
- Adulteração de combustíveis;
- Permanência em circulação de veículos em péssimo estado de conservação, com níveis de emissão muito elevados;
- Falta de medidas destinadas a popularizar e incentivar o uso do transporte público, contendo o crescimento do uso de automóveis como forma de transporte individual.

A caracterização e quantificação dos poluentes veiculares emitidos estão associados ao tipo de veículo e ao combustível utilizado por eles. A definição dos veículos, que apresentam quantidade significativa na frota de veículos do DF, pode ser apresentada de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro da seguinte maneira:

AUTOMÓVEL: veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor.

CAMINHÃO-TRATOR: veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outro.

CAMINHONETE: veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até três mil e quinhentos quilogramas.

CAMIONETA: veículo misto destinado ao transporte de passageiros e carga no mesmo compartimento.

MICROÔNIBUS: veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros.

MOTOCICLETA: veículo automotor de duas rodas, com ou sem *side-car*, dirigido por condutor em posição montada.

MOTONETA: veículo automotor de duas rodas, dirigido por condutor em posição sentada.

ÔNIBUS: veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que, em virtude de adaptações com vista à maior comodidade destes, transporte número menor.

TRATOR: veículo automotor construído para realizar trabalho agrícola, de construção e pavimentação e tracionar outros veículos e equipamentos.

UTILITÁRIO: veículo misto caracterizado pela versatilidade do seu uso, inclusive fora de estrada.

No Brasil, os veículos leves de passageiros utilizam como combustível o etanol hidratado, a gasolina comum e o gás natural veicular (GNV). No caso dos veículos flexfuel, podem optar por gasolina comum ou etanol hidratado. Existe uma fração ínfima de veículos elétricos. As Motocicletas utilizam gasolina comum e os modelos flex-fuel podem utilizar também etanol hidratado. Os Comerciais Leves podem utilizar etanol hidratado, gasolina comum, GNV e também o diesel. Podem também ser do tipo flex-fuel e utilizar gasolina comum ou etanol hidratado. Os Veículos Pesados de modo geral utilizam somente o diesel como combustível. (CETESB, 2017)

Como demonstra J.Goldemberg, Nigro e Coelho (2008), a utilização do etanol hidratado ou da gasolina comum nos veículos flex-fuel depende principalmente da relação de preços desses combustíveis, assim como da resistência ao uso do etanol hidratado, que varia de acordo com a localidade.

Tabela 3 Tipos de poluentes por Combustíveis

Poluentes	Automóveis e comerciais leves		Motocicletas		Veículos do ciclo Diesel
	Gasolina	Etanol hidratado	Gasolina	Etanol hidratado	
Monóxido de Carbono(CO)	x	X	x	x	x
Óxidos de nitrogênio (NOx)	x	X	x	x	x
Material Particulado	x		x		x
Hidrocarbonetos não-metano(NMHC)	x	X	x	x	x
Metano	x	X	x	x	x
Dióxido de Enxofre(SO ₂)	x		x		x
Dióxido de carbono	x	X	x	x	x
Aldeídos(RCHO)	x	X			
Óxido Nitroso(N ₂ O)	x	X	x		x

Fonte: J.Goldemberg, Nigro e Coelho (2008)

A tabela a seguir descreve os efeitos da alta concentração desses poluentes.

Tabela 4 Efeitos nocivos dos principais poluentes veiculares na atmosfera (Ipea).

Poluentes	Símbolo	Impacto
Monóxido de carbono	CO	Atua no sangue, reduzindo sua oxigenação, e pode causar morte após determinado período de exposição à determinada concentração
Óxido de nitrogênio	NO _x	É parte do "smog" fotoquímico e da chuva ácida. É um precursor do ozônio (O ₃), que causa e/ou piora problemas nas vias respiratórias humanas. Também provoca danos a lavouras
Hidrocarbonetos (compostos orgânicos voláteis)	HC	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados formam o "smog" e compostos cancerígenos. É um precursor do ozônio (O ₃)
Material particulado	MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Degrada os imóveis próximos aos corredores de transporte
Óxidos de enxofre	SO _x	Forma a chuva ácida e degrada vegetação e imóveis, além de provocar problemas de saúde.

Fonte: IPEA (2011)

3 MÉTODO

3.1 Apresentação

A partir do conteúdo apresentado nos itens anteriores, pretende-se nesse capítulo descrever um esboço da metodologia adotada para identificar e caracterizar a emissão de poluentes pelo tráfego urbano a partir do sistema de radares eletrônicos do distrito federal. Conforme exposto anteriormente, um grande centro urbano precisa buscar soluções baseadas na tecnologia e no uso inteligente de dados, dessa forma foi sugerida uma solução para identificação das áreas com níveis críticos de emissão de poluentes a partir da coleta de dados dos veículos utilizando plataforma SIG apropriada. Em síntese o presente trabalho pode ser resumido, de acordo com a proposta e objetivos pelo seguinte quadro:

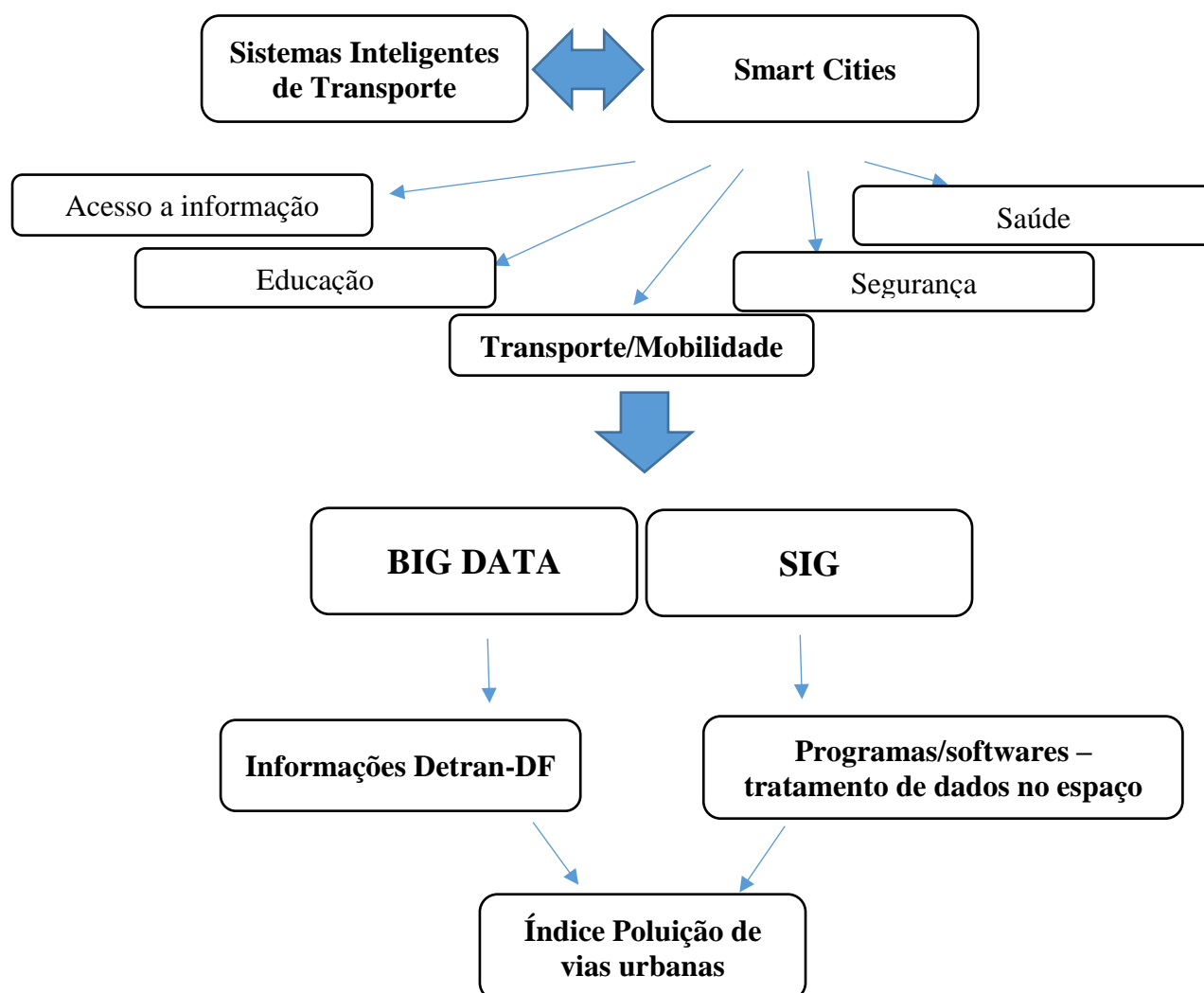


Figura 7 Proposta de Trabalho

3.2 Etapas do Método

O método foi dividido em etapas lógicas e complementares da seguinte forma:

1. Delimitação da área de estudo
2. Identificação do fluxo de veículos
3. Montagem do banco de Dados geográfico
4. Determinação da emissão veicular
5. Representação Espacial do Níveis de Emissão

. Dessa forma o método do trabalho foi dividido em etapas lógicas e complementares da seguinte forma:

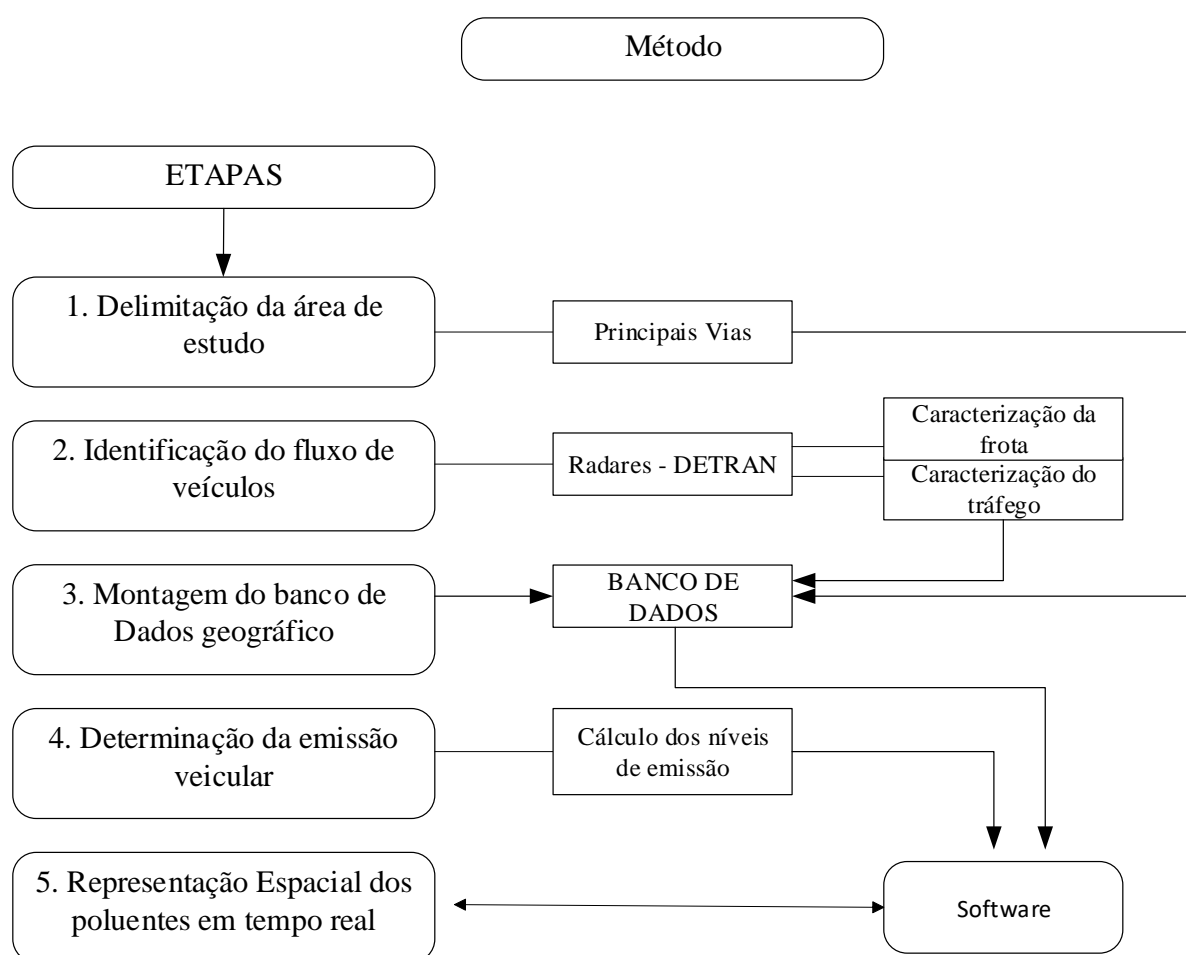


Figura 8 Esquema geral do Método.

3.2.1 Delimitação da área de estudo

Com o objetivo de viabilizar e direcionar o trabalho, nessa etapa será delimitada a área em que será verificado o nível de poluentes. Para tal foi necessário escolher um local estratégico que contemple uma área pequena, possibilitando o estudo proposto, e de grande importância dentro da cidade. Aspectos como: localização dos pontos de monitoramento, circulação de pessoas foram considerados para a escolha do local. Dessa forma foi traçado a região especificada no estudo de caso (capítulo 5).

3.2.2 Identificação do fluxo de veículos

O volume de tráfego é primordial para alcançar os objetivos do trabalho, servindo, juntamente com meios e estatísticas que caracterizem os veículos, como fonte de dados para obter os níveis de poluentes. Dessa forma deve ser caracterizado a frota a partir dos dados coletados e associar essas informações aos poluentes caracterizados anteriormente por meio do tipo do veículo, idade e do combustível utilizado.

As informações necessárias para volume de tráfego na área de estudo podem ser coletadas por meio do órgão de trânsito local por meio dos controladores eletrônicos de velocidade, presentes nas principais vias da cidade.

3.2.3 Montagem do banco de dados geográfico

O objetivo principal dessa etapa é organizar de forma lógica os dados obtidos nas etapas anteriores, para que seja possível a consulta ao banco de dados. Para isso é necessária a criação de uma base geográfica que servirá como uma interface lógica suporte ao banco de dados, assim como apresentado no capítulo de estruturas de apoio a gestão na revisão bibliográfica.

Nessa base geográfica estarão destacadas as vias analisadas juntamente com os pontos de coleta de dados, as informações extraídas na etapa anterior serão utilizadas na confecção dos mapas, integrado ao software do Sistema de Informações Geográfica (SIG): ARCGIS. O software utilizado nessa etapa tem sua licença disponibiliza pela Universidade de Brasília para técnicos e estudantes.

Os procedimentos para obtenção do Software são descritos a seguir:

- preencher o termo de responsabilidade com todas as informações solicitadas de acordo com o perfil do solicitante, disponível em: <https://gis.unb.br/como-usar/>.
- Imprimir o termo preenchido e assinar.
- Envie o termo digitalizado para suportesl@unb.br

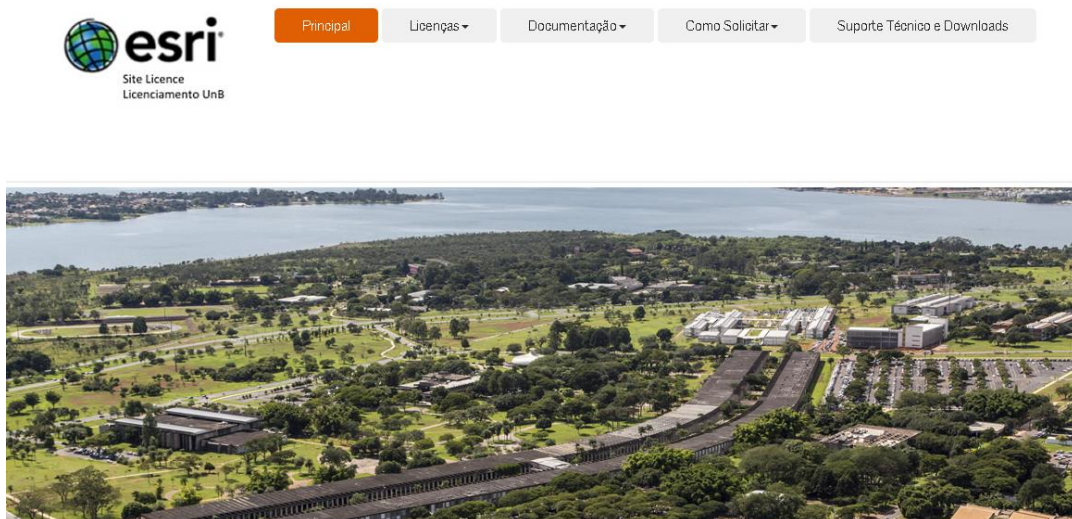


Figura 9 Site licenciamento Esri – ArcGIS.

A partir da montagem do banco de dados será possível um tratamento das informações coletadas como: volume de tráfego, tipo de veículos e emissão de poluentes. Essas informações serão armazenadas em uma base para serem consultadas de acordo com a região e via desejada.

3.2.4 Determinação dos níveis de emissão

Nessa etapa será efetuado o cálculo para determinação do poluente baseado no tráfego veicular, a emissão será determinada a partir de um número de veículos em um intervalo de tempo específico. A partir da emissão, em g/km, o número encontrado será comparado com índices limites presentes na literatura afim de encontrar os pontos crítico dentro das vias selecionadas.

3.2.5 Representação Espacial dos poluentes

Tem o objetivo de reunir as informações coletadas anteriormente e dispô-las na área delimitada, criando uma interface onde seja possível identificar os níveis de poluição de um local específico assim como locais de níveis críticos de poluição.

4 ESTUDO DE CASO: POLUIÇÃO AMBIENTAL DA AVENIDA W3.

4.1 Apresentação

De acordo com o apresentado no capítulo anterior, acerca da metodologia proposta, pretende-se nesse trabalho apresentar o nível de exposição a poluentes na área de estudo do trabalho. Para alcançar tal objetivo é necessário aplicar a metodologia adota nas condições de espaço e tráfego de Brasília.

Dessa forma, o presente capítulo tem como principal objetivo aplicar a metodologia, exposta no capítulo anterior, na cidade de Brasília-DF. Para isso foi necessário a utilização de controladores eletrônicos de tráfego das vias desejadas para a análise, assim como dados complementares para caracterizar a composição da frota de veículos.

4.2 Caracterização da área de estudo

O Distrito Federal está situado na região Centro Oeste, sendo a menor região administrativa do Brasil, englobando uma área total de 5 779,999 km², dentro do seu território está localizado a capital federal Brasília e outras 31 regiões administrativas. A cidade registrou contava com 1.699.682 veículos (IBGE, 2016) e uma população de 2.974.703 habitantes (IBGE, 2018).

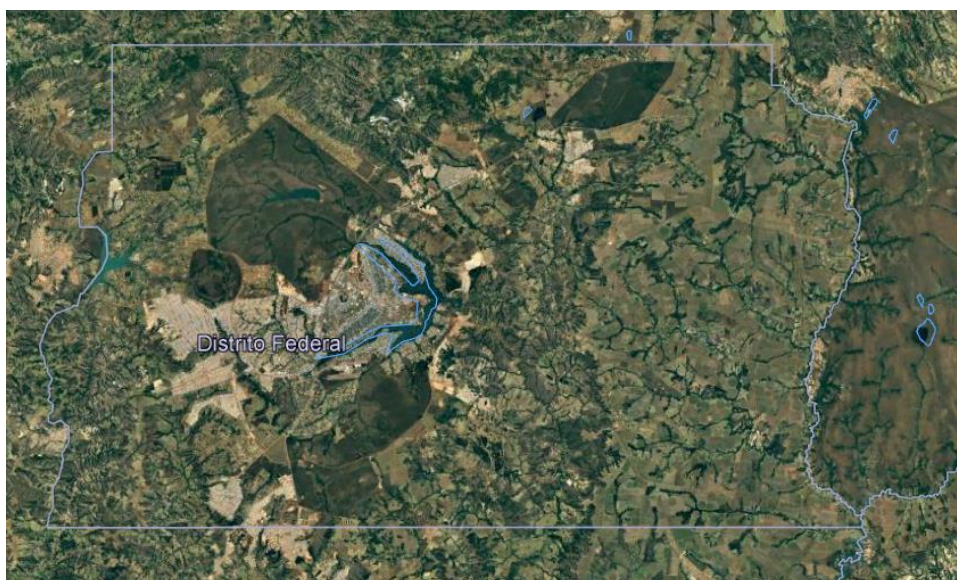


Figura 10 Vista Aérea do Distrito Federal
Fonte: Google Maps

A área de estudo será concentrada no Plano Piloto, centro da capital, onde estão concentrados os principais serviços, provocando uma intensa circulação de automóveis e pessoas sobretudo nos horários de pico. Suas principais vias são: Eixo Monumental, Eixo Rodoviário, Avenida W3 e Avenida L2.



Figura 11 Mapa viária do Plano Piloto
Fonte: Google Maps

4.3 Aplicação da metodologia

4.3.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo, concentrada no Plano Piloto, engloba um corredor de deslocamento no centro da cidade, no eixo Norte-Sul. Dessa forma grandes fluxos veiculares estarão representados no estudo a partir das seguintes vias: Avenidas W3 Norte e Sul.

Avenidas W3 Sul e W3 Norte

De acordo com Brandão (2008), a Avenida W3 tem como característica atravessar o Plano Piloto de Brasília de forma longitudinal no sentido norte e sul, ela ocupa a terceira avenida paralela ao eixo rodoviário, sua extensão chega a 12 Km. Sendo possível notar grandes diferenças na sua configuração, principalmente entre os trechos norte e sul.

A Avenida W3 foi concebida originalmente como via de serviço para as áreas residenciais e comerciais do corpo das asas do Plano Piloto de Brasília. Nessa via de serviço, ficariam localizados “garagens, oficinas, depósitos do comércio em grosso etc.” Esse apoio “atacadista” e “oficineiro” ficaria na faixa que veio a ser denominada *Quadras 500*.

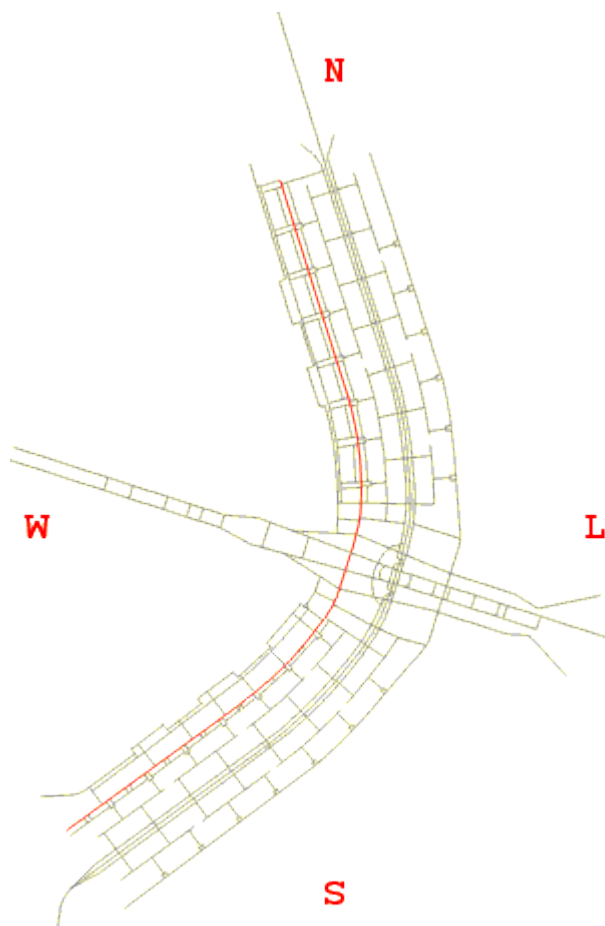


Figura 12 W3 SUL e NORTE

Inicialmente a W3 foi a principal avenida comercial no Plano Piloto, com o desenvolvimento de novas áreas a avenida perdeu esse foco e ganhou variados tipos de ocupação. Calvacanti (2006) expõe que rapidamente a W3 Sul transformou-se na principal rua de comércio da cidade, concentrando agências bancárias, correios, telefônica [...], restaurantes, cinema etc. Papel que só decaiu com o surgimento dos primeiros shoppings.

Atualmente a via possui três faixas de rolamento em cada sentido, sendo uma faixa exclusiva para ônibus, canteiro central, calçadas e ocupação que variam ao longo da via com predomínio comercial e residencial.

Junior (2014) traçou um caracterizou do comercio na avenida a partir do número de atividades para diferentes ramos:

Tabela 5 Perfil do comércio na W3.

Ramo De Atividade	Quantidade	%
Automotivo	37	19%
Móveis e Construção	30	15%
Vestuário	26	13%
Alimentício	23	12%
Beleza e Cosméticos	16	8%
Saúde e Bem-Estar	14	7%
Tecnologia	12	6%
Educacional	8	4%
Utensílios Do Lar	7	4%
Agropecuária E Animal	6	3%
Outros	15	8%
Total	194	100%

Para Lins (2013), na contramão da maioria dos comércios de Brasília, os empresários dessa região enfrentam a decadência da via, tendo dificuldades para manter o comércio aberto. Recentemente, o fluxo comercial diminui a cada ano. Encontra-se um efeito cascata da evasão comercial para outras regiões de Brasília.

A necessidade de uma revitalização foi discutida diversas vezes, porem nenhuma medida significativa foi tomada ou está prevista no momento. Uma proposta que ganhou força foi a implantação de VLT no canteiro central da avenida, conectando a parte sul e norte até o aeroporto.

4.3.2 Identificação do fluxo de veículos

Com o objetivo de caracterizar a frota de veículos nacional e da cidade, sobretudo no plano piloto, com relação ao tamanho, composição, tipo de combustível e idade da frota com ênfase nos automóveis foram levantados os seguintes dados:

De acordo com o DENATRAN (2018) a frota nacional é de 100.094.725 veículos. Os automóveis representam 3 quartos da frota nacional, como demonstrado a seguir:

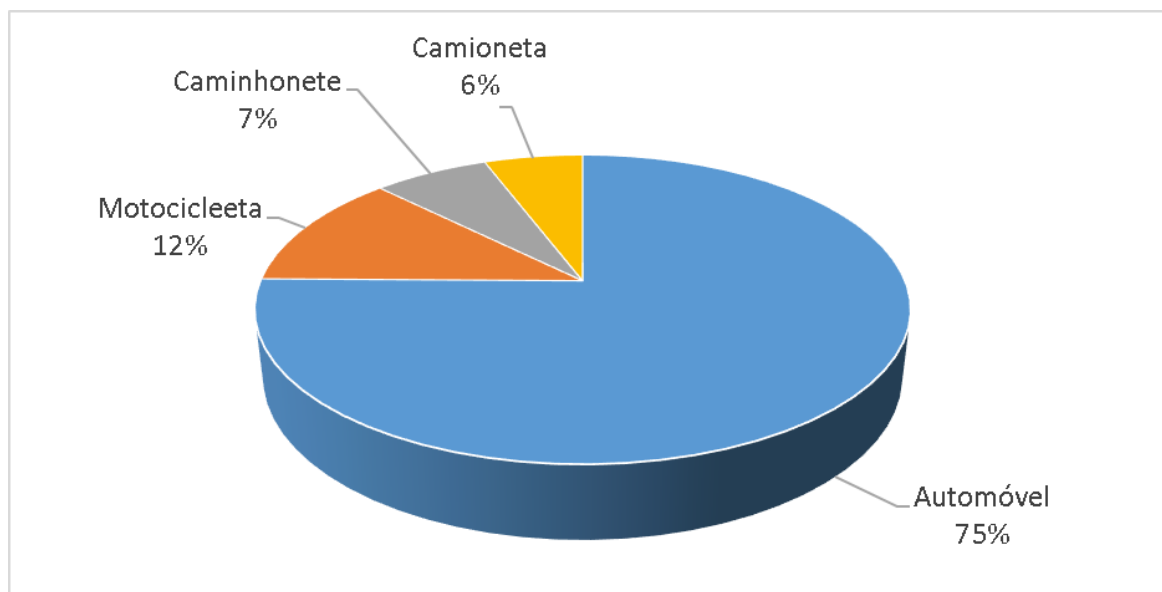


Figura 13 Composição por segmento.

Fonte: DENATRAN (2018)

A frota de veículos no DF, em sua maioria, é composta por veículos *flex*, movidos a álcool ou gasolina. Os veículos movidos a álcool/gasolina e somente a gasolina representam segundo o DENATRAN (2018) mais de 90% da frota do país.

Tabela 6 Composição da frota nacional por combustível.

Combustível	Quantidade	(%)
álcool/gasolina	938961	53,2%
gasolina	658999	37,3%
Diesel	108271	6,1%
Álcool	57899	3,3%
gasolina/álcool/gás natural	806	0,0%
gasolina/gás natural veicular	761	0,0%
gasolina/elétrico	515	0,0%
elétrico/fonte interna	33	0,0%
álcool/gás natural veicular	26	0,0%
elétrico/fonte externa	11	0,0%
Gasogênio	6	0,0%
gás natural veicular	5	0,0%
diesel/gás natural veicular	4	0,0%
diesel/gás natural combustível	2	0,0%
gás metano	2	0,0%

Fonte: DENATRAN (2018)

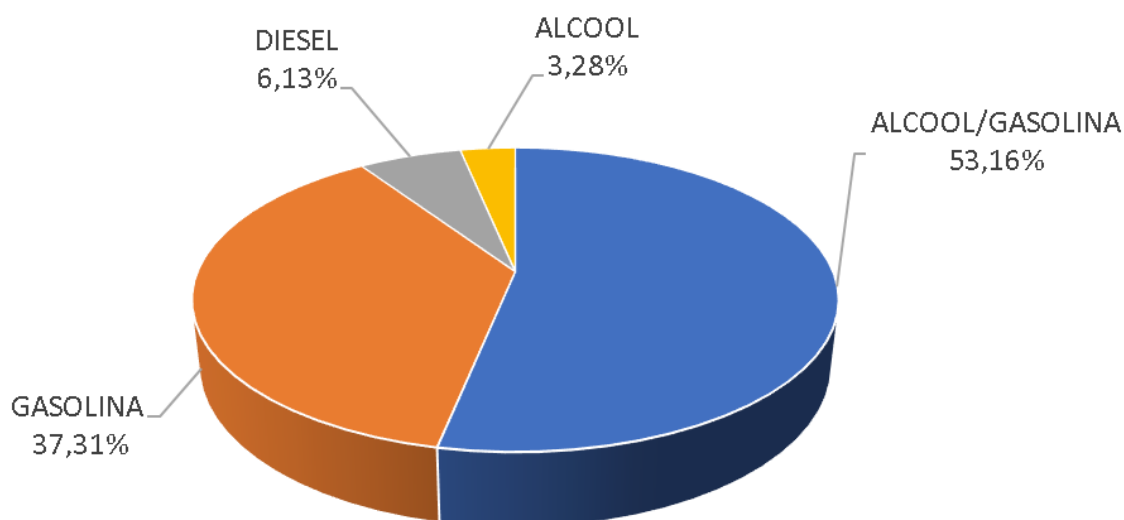


Figura 14 Composição da frota de automóveis nacionais por combustível
Fonte: DENATRAN (2018)

A idade da frota é determinante para conhecer a emissão média dos veículos. Segundo o DETRAN DF (2018) cerca de 70% dos veículos possuem 5 ou mais anos de uso. A distribuição da idade da frota é mostrada a seguir:

Tabela 7 Frota de veículos registrada por ano de fabricação.

Ano de Fabricação	Total de veículos DF
<2002	438.448
2002	32.786
2003	32.352
2004	37.137
2005	41.369
2006	54.804
2007	74.205
2008	95.270
2009	97.287
2010	114.689
2011	119.902
2012	119.382
2013	129.345
2014	116.376
2015	91.368
2016	70.384
2017	78.828
Até outubro/2018	58.432
TOTAL	1.802.364

Fonte: DETRAN DF (2018).

4.3.3 Montagem do banco de Dados geográfico

Para a realização desse estudo foram coletados dados de fluxo de veículos de controladores eletrônicos de velocidade, radares fixos (pardais) e radares eletrônicos de avanço de sinal (registradores de infrações em semáforos), situados na rede viária do Plano Piloto nas vias W3 Sul e W3 Norte. Os dados dos fluxos de veículos foram fornecidos pelo Departamento de Trânsito do Distrito Federal – DETRAN – DF.

O sistema Ares – Detran/DF, disponível em: <https://sittraneletronica.com/>, forneceu os dados que serviu de base para o presente trabalho. A partir dele é possível obter o fluxo de veículos por faixa de deslocamento nos locais onde existem radares eletrônicos. As imagens a seguir demonstram o uso do sistema.

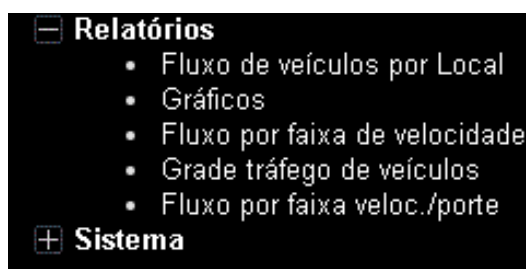


Figura 15 Menu Sistema Ares Detran/DF

A imagem mostra a tela de configuração de um relatório. O título é 'Relatório de fluxo de veículos por velocidade'. Os campos de entrada são: 'Equipamento' com o valor '1755', 'Data inicial' com '21/02/2018', 'Data final' com '22/11/2018', 'Horário inicial' com '00 minutos' e 'Horário final' com '59 minutos'. Há uma opção 'Tipo visualização' com radio buttons para 'PDF' (selecionado) e 'Excel'. Um botão 'Visualizar' está na parte inferior.

Figura 16 Sistema Ares Detran/DF

Dentre os pontos disponíveis foram selecionados os correspondentes a via de estudo e listados a seguir:

Tabela 7 Localização radares W3 sul/norte.

Nº Serie	Equipamento
1755	(RSI110) W3 NORTE SCR N 514/515 SENT. SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 168
1758	(RSI038) W3 NORTE SEPN 506 SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 162.
3277	(RSI040) W3 NORTE SCR N 502 SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 160
3280	(RSI041) W3 NORTE SCLRN 703 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 160
3286	(RSI003) W3 NORTE SEPN 510 SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 166.
3289	(RSI004) W3 NORTE SCLRN 711 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 166
3345	(RSI039) W3 NORTE SCLRN 707 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 162
3518	(RSI007) W3 SUL SCS SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 054.
3521	(RSI008) W3 SUL SHS SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 054
3527	(RSI050) W3 SUL CRS 511 SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 068
3530	(RSI051) W3 SUL SRTVS 702 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 056.
3533	(RSI024) W3 SUL CRS 505 SENT SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 059.
3536	(RSI025) W3 SUL HIGS 704 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 059.
3539	(RSI054) W3 SUL SHIGS 714 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 073
3542	(RSI096) W3 SUL ALT. SCRS 508/509 SENT. SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 063.
3545	(RSI097) W3 SUL ALT. SHIGS 708/709 SENT. NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 063.
3548	(RSI102) W3 SUL SHIGS 712/713 SENT. NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 403.
3581	(RSI073) W3 SUL HIGS 707 SENT NORTE/SUL SEMAFORO CRUZ 062
3608	(RSI109) W3 NORTE SCR N 508/509 SENT. SUL/NORTE SEMAFORO CRUZ 163.

A distribuição dos pontos de aferição seguem a disponibilidade de dados disponíveis no sistema, da seguinte maneira:

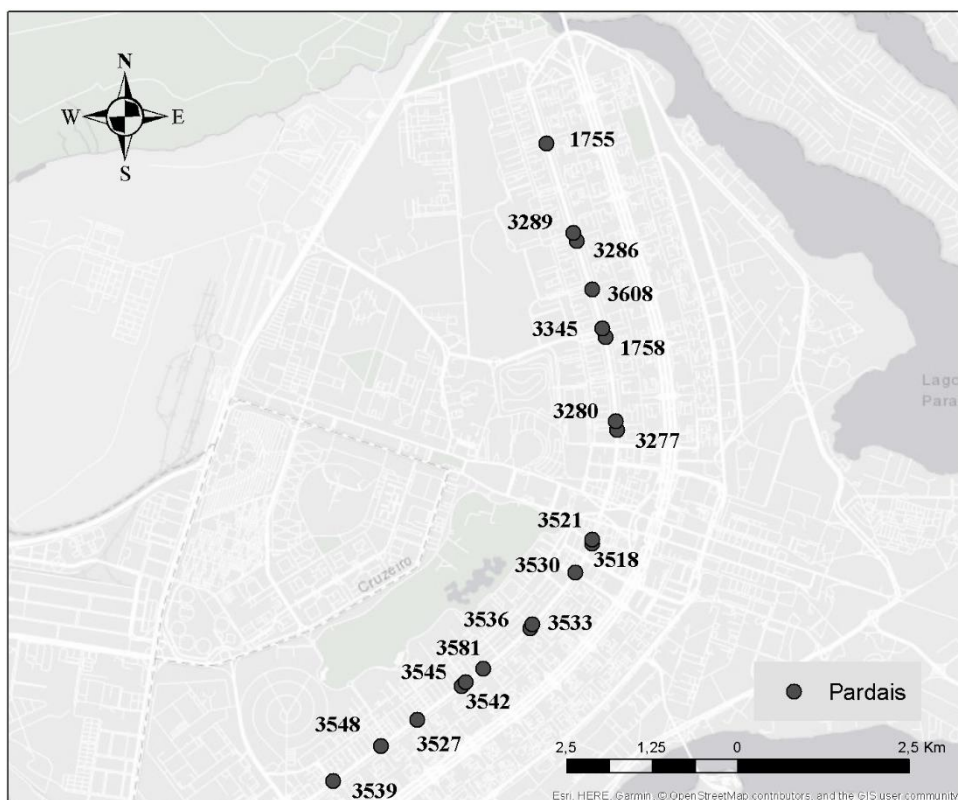


Figura 17 Distribuição dos radares

4.3.4 Caracterização do tráfego de veículos na W3

A caracterização do tráfego na região de estudo partiu da escolha de um mês de referência. Para isso foi necessário avaliar um período típico na ocupação e circulação da via, dessa forma foi escolhido o mês de novembro de 2018, visto que foi o mais próximo a data do relatório que não correspondia ao período de férias escolares.

A circulação de veículos nos pontos seguiu uma tendência bem clara, com uma redução significativa nos finais de semana e feriados e um maior tráfego nos pontos localizados mais ao centro da cidade. Assim como exposto no seguinte gráfico:

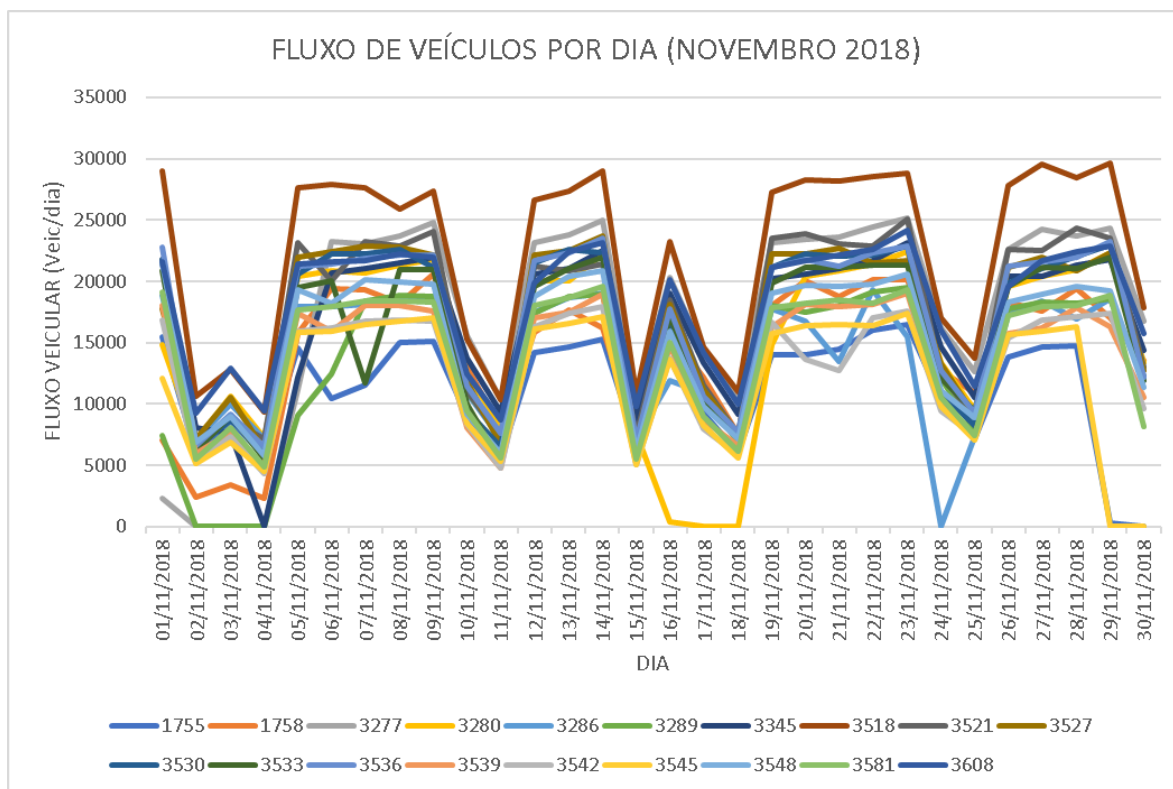


Figura 18 Variação diária do volume de veículos por controlador de velocidade

Observação: Alguns radares apresentaram fluxo zero em alguns dias do mês de estudo, fato que pode ser explicado por um possível defeito no equipamento ou no sistema do órgão.

Afim de identificar os horários de pico foram selecionados 4 pontos (2 na W3 Sul um em cada sentido, e 2 na W3 Norte, um em cada sentido) para analisar a variação horário de tráfego em um dia de circulação normal dentro do mês de estudo. Como demonstrado a seguir:

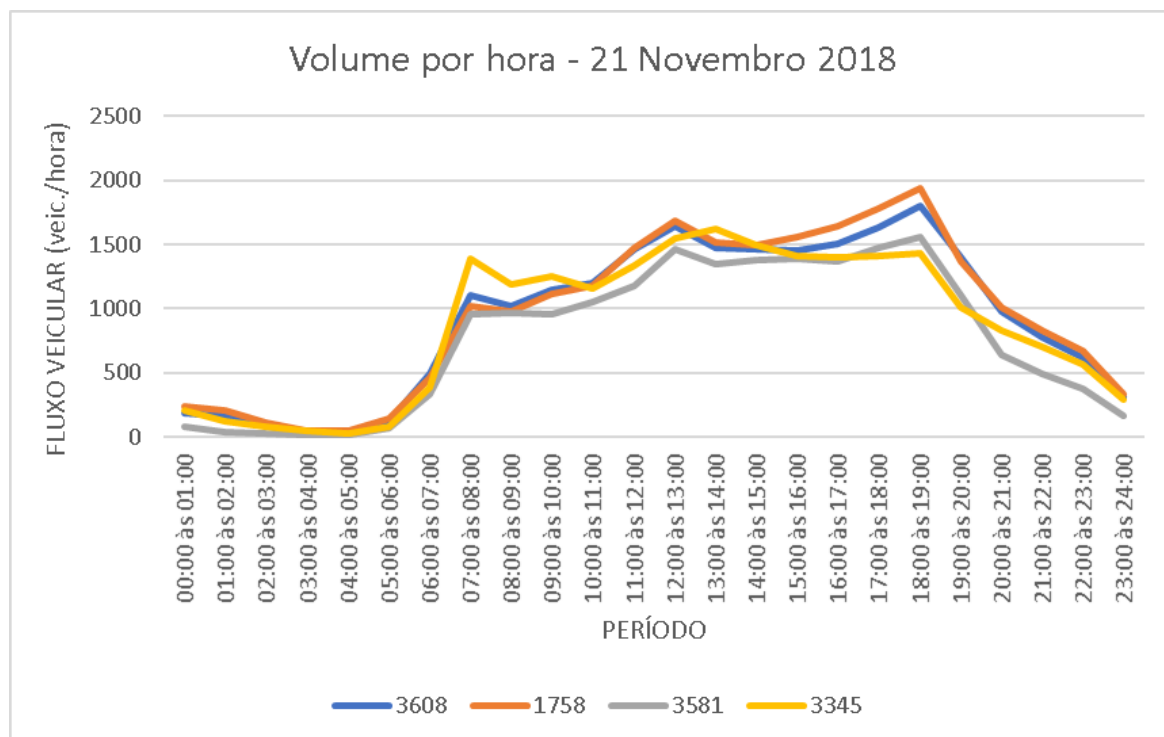


Figura 19 Variação horária do volume de veículos por controlador de velocidade

A partir do gráfico foi possível identificar os horários de maiores fluxos durante o dia. Os picos foram durante a tarde (entre 12h e 19h), sendo o maior entre 18:00 e 19:00. Para as próximas etapas foram escolhidos 3 períodos de 1h, representando diferentes etapas no dia. Desse modo, foram definidas as horas típicas: 7:00-8:00h, 12:00-13:00h e 18:00-19:00h, a análise da variação do fluxo de veículos, nesses horários, permitiu estudar a emissão veicular com maior precisão.

A figura a seguir apresenta a distribuição espacial do volume de automóveis nas horas-picos de estudo na W3, nos sentidos Sul-Norte e Norte-sul respectivamente.

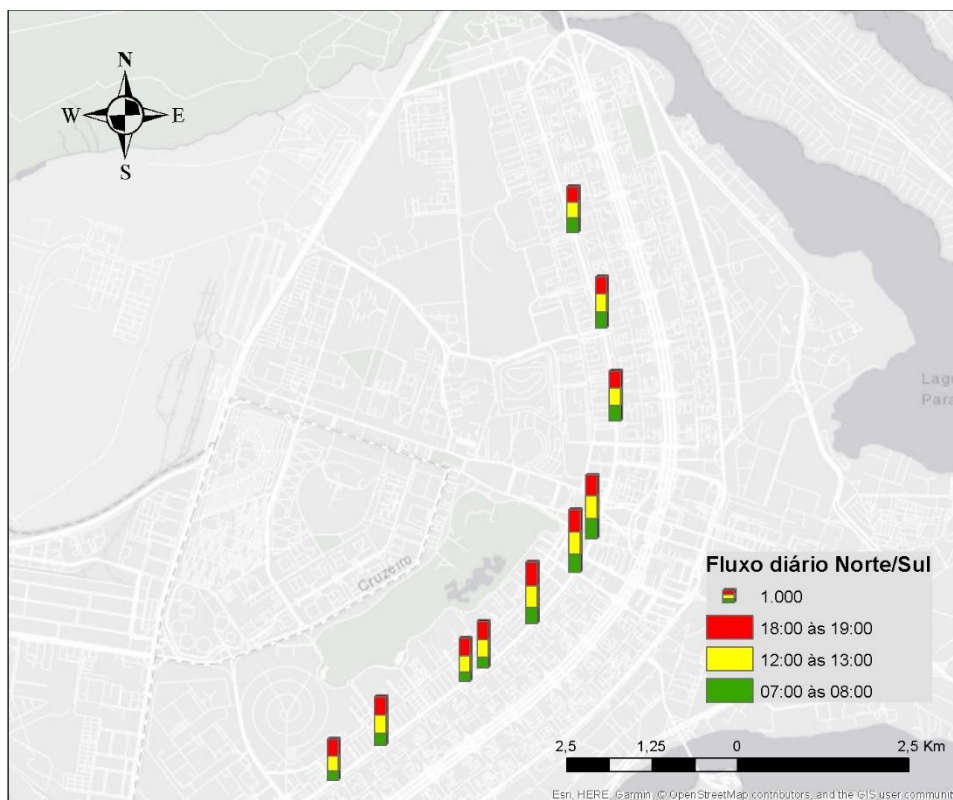


Figura 20 Volume de automóveis por horas pico (Norte/Sul)

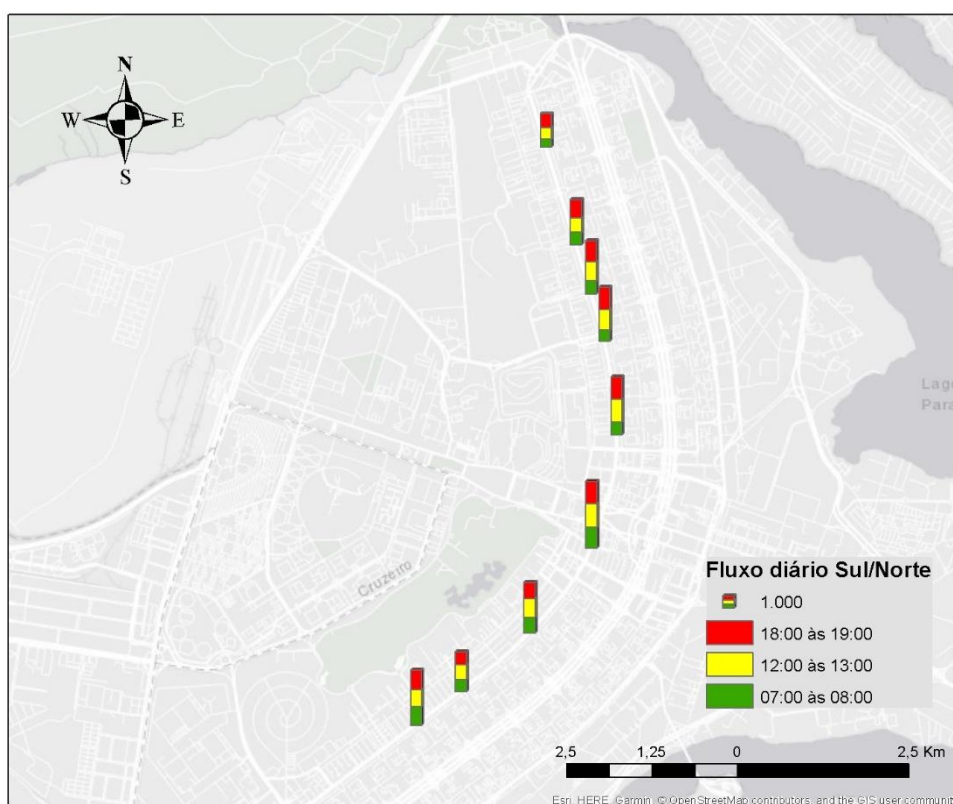


Figura 21 Volume de automóveis por horas pico (Sul/Norte)

Para o mesmo dia foi verificado o volume total diário (24h) nos mesmos pontos nos dois sentidos da via, norte-sul (azul) e sul-norte (verde), de acordo com a tabela e as imagens a seguir:

Tabela 8 Tráfego diário (21/11)

Ponto	Nº de veículos (21/11)
3518	28219
3277	23582
3521	23077
3527	22651
3608	22107
3530	22059
3536	21221
3533	21116
3345	21010
3280	20870
3548	19622
1758	18779
3581	18481
3289	18042
3539	17920
3545	16484
1755	14487
3286	13450
3542	12689

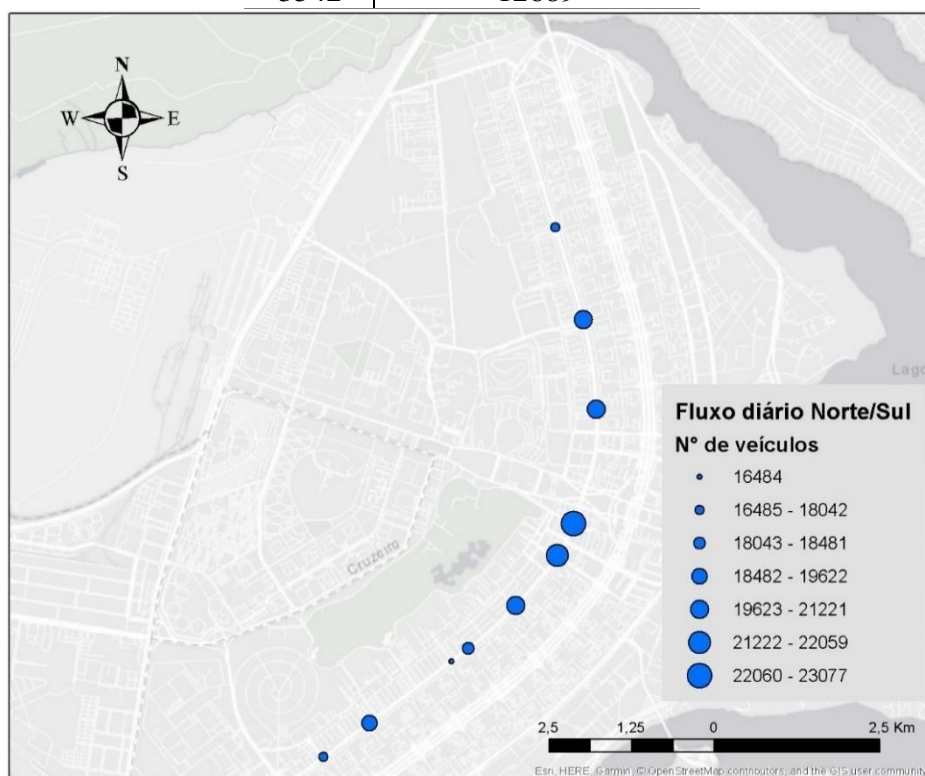


Figura 22 Volume de automóveis por dia Norte/Sul

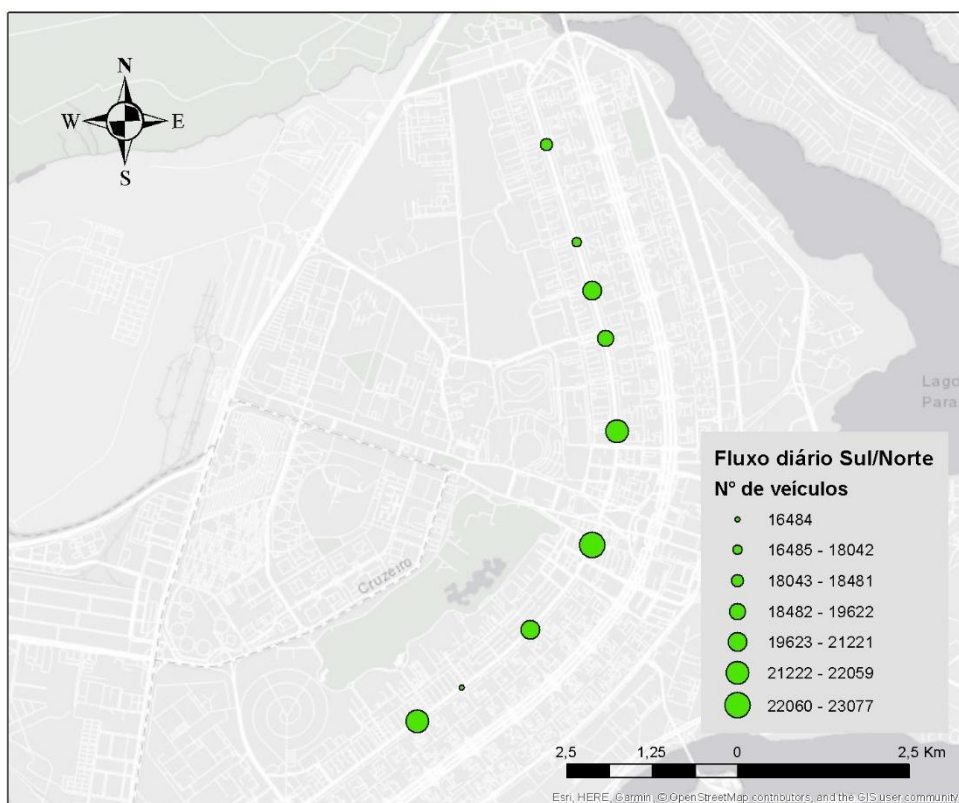


Figura 23 Volume de automóveis por dia Sul/Norte

4.3.5 Determinação da emissão veicular

Essa etapa visa compor a base de dados geográfica, considerando os dados levantados nas etapas anterior juntamente com o volume de tráfego, a fim de gerar mapas de calor ao longo do dia. Foi determinada a emissão veicular (CO e NOx) em g/hora por km de via, a partir do fator de emissão por veículos disponibilizados pela CETESB (2016).

A quantificação das emissões será calculada aplicando a equação presente e Filizola (2005). Na equação, FE_i representa o fator de emissão (g/km) do poluente i e N_{jt} é o fluxo de veículos na via ou ponto de contagem j , em um período de tempo t expresso em veículo/h. E_{ijt} é a quantidade emitida do poluente i , durante o período de tempo t de estudo de uma determinada via j . Para o cálculo das emissões foi considerado cada ponto de contagem, para o CO e NOx se aplicou a fórmula:

$$E_{ijt} = FE_i \cdot N_{jt}$$

Dessa forma foi tabelada os fluxos horários nos três horários de picos em diferentes períodos do dia. A taxa de emissão de CO de NOx foi calculada a partir da tabela referência da

CETESB (2016) que estima a emissão por veículo a partir do tipo, ano de fabricação e combustível utilizado. A partir dos dados que caracterizam a frota de veículos do Distrito Federal foi possível ponderar os valores para a aplicação do método.

Tabela 9 Taxas de emissão de CO por ano de fabricação

		flex. Gasolina	flex. Etanol	Gasolina	álcool	Diesel
Ano de fabricação	%	53,2%	53,2%	37,3%	3,3%	6,1%
<2002	24,33%	1,45	-	3,24	3,24	2,714
2002	1,82%	1,5	-	1,5	1,45	1,478
2003	1,79%	1	1	1,56	1,41	1,478
2004	2,06%	0,97	0,95	1,53	1,37	1,41
2005	2,30%	0,98	0,85	1,35	1,18	1,41
2006	3,04%	0,99	0,77	1,23	1,14	1,811
2007	4,12%	0,98	0,8	1,13	-	1,811
2008	5,29%	0,89	0,79	0,93	-	2,289
2009	5,40%	0,57	0,77	0,67	-	1,895
2010	6,36%	0,52	0,81	0,64	-	1,839
2011	6,65%	0,5	0,92	0,59	-	1,677
2012	6,62%	0,46	0,94	0,52	-	0,537
2013	7,18%	0,4	0,81	0,36	-	0,539
2014	6,46%	0,39	0,69	0,35	-	0,539
2015	5,07%	0,46	0,43	0,28	-	0,479
2016	3,91%	0,41	0,39	0,22	-	0,57
2017	4,37%	0,41	0,39	0,22	-	0,57
2018	3,24%	0,41	0,39	0,22	-	0,57

Fonte: CETESB (2016); DETRAN DF (2018); DENATRAN (2018)

A tabela apresentada relaciona os valores estatísticos apresentados anteriormente como números absolutos em forma de porcentagem. Dessa forma a segunda coluna possui a porcentagem de veículos pertencentes ao ano de fabricação correspondente de acordo com o DETRAN DF. A segunda linha corresponde ao tipo de combustível utilizado de acordo com o DENATRAN. A parte central da tabela contem as taxas de emissão de veículos de acordo com o tipo de combustível e o ano de fabricação fornecida pela CETESB.

Tabela 10 Taxas de emissão de NOx por ano de fabricação

Ano de fabricação	%	Flex. Gasolina 53,2%	Flex. Etanol 53,2%	Gasolina 37,3%	Álcool 3,3%	Diesel 6,1%
<2002	24,3%	0	0	0	2,61	17,37
2002	1,82%	0	0	0	0,89	10,71
2003	1,79%	0	0	0,22	0,88	10,71
2004	2,06%	0,12	0,18	0,21	0,88	9
2005	2,30%	0,11	0,14	0,2	0,73	9
2006	3,04%	0,12	0,17	0,27	0,34	8,21
2007	4,12%	0,11	0,13	0,29	0	8,21
2008	5,29%	0,1	0,1	0,12	0	8,62
2009	5,40%	0,07	0,06	0,09	0	8,26
2010	6,36%	0,08	0,06	0,06	0	8,39
2011	6,65%	0,06	0,04	0,04	0	8,46
2012	6,62%	0,07	0,06	0,04	0	2,62
2013	7,18%	0,06	0,05	0,03	0	2,69
2014	6,46%	0,04	0,05	0,03	0	2,69
2015	5,07%	0,03	0,04	0,02	0	2,623
2016	3,91%	0,03	0,03	0,01	0	2,901
2017	4,37%	0,03	0,03	0,01	0	3,901
2018	3,24%	0,03	0,03	0,01	0	4,901

Fonte: CETESB (2016); DETRAN (2018); DENATRAN (2018)

Para os dois últimos anos (2017 e 2018) foram utilizados valores referentes ao ano de 2016, uma vez que foi o relatório mais recente encontrado na literatura.

Para os veículos *flex* foi considerado o uso apenas de gasolina, que representa a situação mais crítica.

Após ponderar os índices obteve-se um fator de emissão (FE_i) de 0,98 g/k. Aplicando a equação apresentada anteriormente foi possível quantificar a quantidade emitida (E_{ijt}) de CO em diferentes períodos do dia. Assim como apresentado a seguir:

Tabela 11 Taxas de CO por horários- pico

N° série	Fator de Emissão de CO (g/km)	7h-8h	12h-13h	18h-19h
1755	0,98	700,93	922,80	1179,02
1758	0,98	1007,23	1652,20	1901,55
3277	0,98	1095,58	1872,10	1903,52
3286	0,98	1058,27	1199,64	1559,92
3518	0,98	1769,03	2003,65	1858,36
3527	0,98	1579,56	1417,58	1603,12
3533	0,98	1325,30	1561,89	1357,69
3542	0,98	1008,21	1238,91	1076,93
3608	0,98	1087,72	1616,86	1764,12
3280	0,98	1277,19	1469,61	1439,17
3289	0,98	1211,42	1313,52	1285,05
3345	0,98	1366,53	1517,71	1401,87
3521	0,98	1711,10	1906,46	1757,24
3530	0,98	1501,02	1870,14	1857,38
3536	0,98	1362,60	1809,27	2008,56
3539	0,98	817,76	1269,34	1401,87
3545	0,98	819,72	1343,95	1448,99
3548	0,98	1026,86	1559,92	1500,04
3581	0,98	939,49	1433,28	1534,40

O mesmo procedimento foi realizado para obter a taxa de emissão de NOx. Cabe observar que automóveis leves pouco contribuem para esse poluente. Os veículos pesados foram representados como ônibus urbanos em sua totalidade, respeitando as características da via, e visto que o sistema não define o tipo de veículo pesado circulante.

Tabela 12 Taxas de NOx por horários- pico

N° série	Fator de Emissão de NOx (g/km)	7h-8h	12h-13h	18h-19h
1755	0,60	429,5	565,5	722,5
1758	0,60	617,2	1012,5	1165,3
3277	0,60	671,4	1147,3	1166,5
3280	0,60	782,7	900,6	882,0
3286	0,60	648,5	735,2	956,0
3289	0,60	742,4	805,0	787,5
3345	0,60	837,4	930,1	859,1
3518	0,60	1084,1	1227,9	1138,8
3521	0,60	1048,6	1168,3	1076,9
3527	0,60	968,0	868,7	982,4
3530	0,60	919,9	1146,1	1138,2
3533	0,60	812,2	957,2	832,0
3536	0,60	835,0	1108,8	1230,9
3539	0,60	501,1	777,9	859,1
3542	0,60	617,9	759,2	660,0
3545	0,60	502,3	823,6	888,0
3548	0,60	629,3	956,0	919,3
3581	0,60	575,7	878,3	940,3
3608	0,60	666,6	990,8	1081,1

Assim como apresentado anteriormente para a representação espacial dos níveis de emissão do CO e NO_x, foram considerados os pontos de contagem dos controladores de velocidade como pontos de emissão. Os cenários representados demonstram a emissão dos poluentes emitidos por veículos leves e pesados nas diferentes horas típicas de estudo (7:00-8:00h; 12:00-13:00h e 18:00-19:00h).

Monóxido de Carbono (CO)

A seguir, serão apresentados os níveis de emissão do CO nos pontos especificados anteriormente nas respectivas horas de pico assim como o apresentado nas tabelas anteriores

Hora-pico 1 (7:00-8:00h):

Os volumes máximos de veículos nesse período apresentam-se no Setor Comercial Sul e Setor Hoteleiro Sul. Os máximos volumes refletem taxas de emissão de 1769,0 e 1711,1g/h por Km respectivamente.

Hora-pico 2 (12:00-13:00h):

Igualmente com o horário da manhã os volumes máximos de veículos nesse período apresentam-se no Setor Comercial Sul e Setor Hoteleiro Sul. Os máximos volumes refletem taxas de emissão de 2003,7 e 1906,5 g/h por Km respectivamente.

Hora-pico 3 (18:00-19:00h):

Diferentemente dos dois primeiros períodos os volumes de tráfego máximos no fim da tarde apresentam-se na Asa Norte nas quadras 502 e 506 e na asa sul na quadra 504. A diferença na tendência pode ser justificável pelo horário de fim de expediente em que mais carros estão saindo do centro da cidade para regiões periféricas. As máximas taxas de emissão foram de 2008,6 e 1903,5 g/h por km nas quadras HIGS 704 e SCRIN 502 respectivamente.

As taxas obtidas para emissão de CO são representadas nos mapas a seguir, divididos por sentido de fluxo.

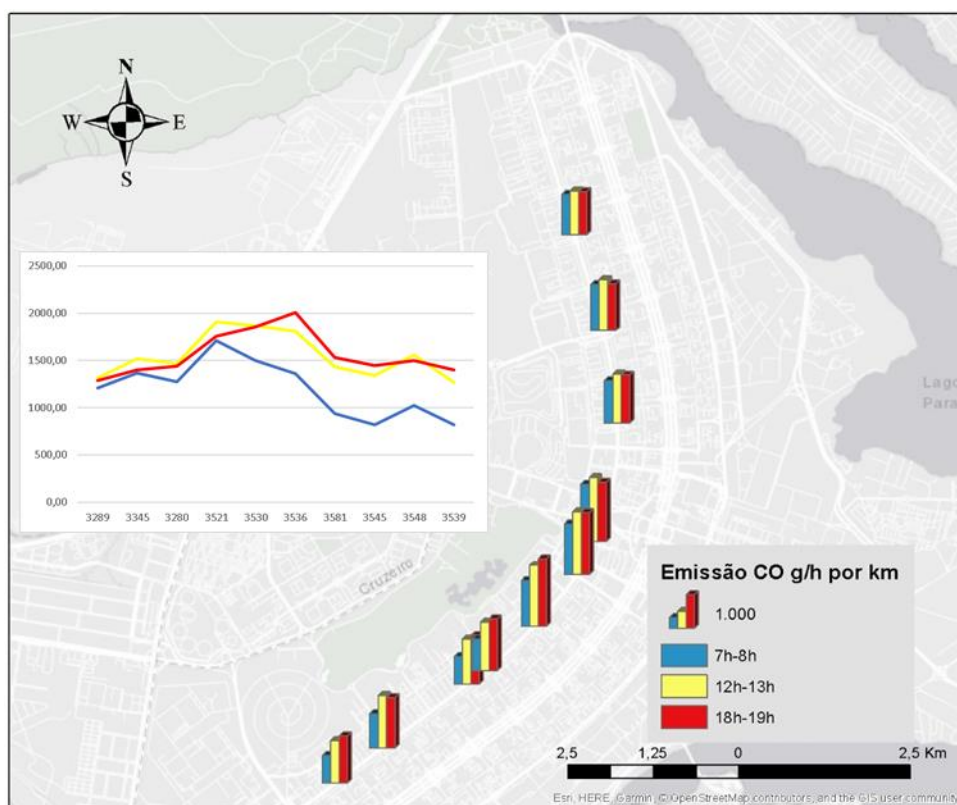


Figura 24 Emissão de CO g/h por km; Sentido Norte/Sul.

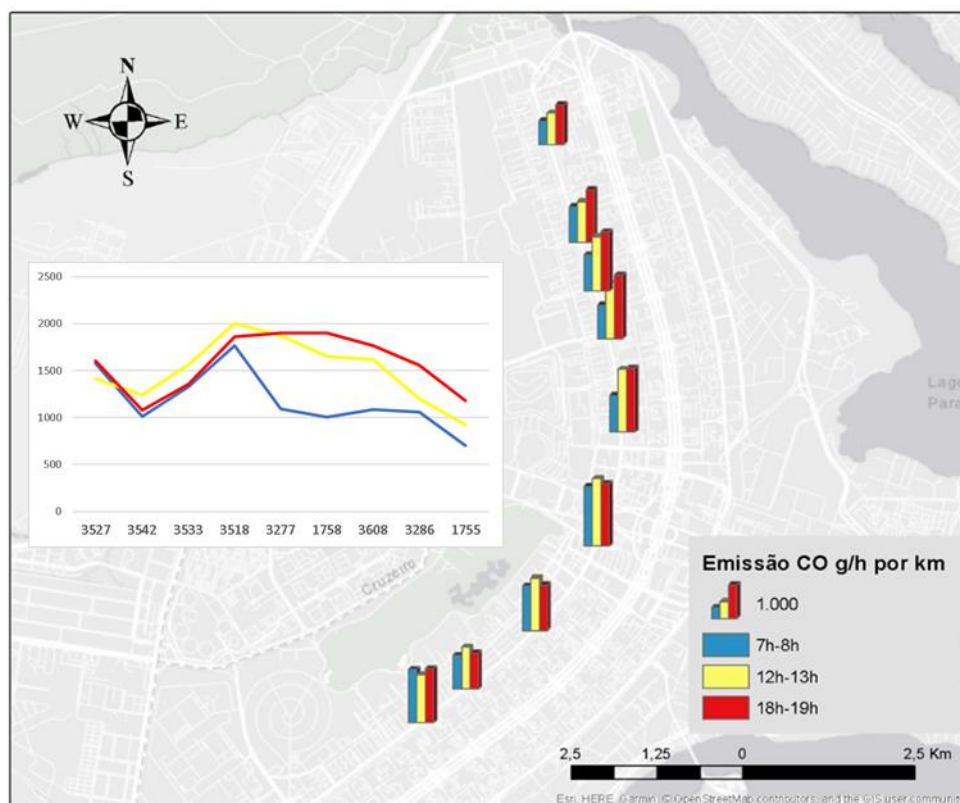


Figura 25 Emissão de CO g/h por km; Sentido Sul/Norte.

Óxido de Nitrogênio (NO_x)

Os mesmos pontos que apresentaram as máximas taxas de CO apresentam as máximas taxas de NO_x, uma vez que foi definido uma taxa de emissão para a via como um todo, o dia de análise e o mesmo, e que os veículos pesados, representados pelos ônibus urbanos, circulam quase que de maneira uniforme pela via.

As taxas obtidas para emissão de NO_x são representadas nos mapas a seguir, divididos por sentido de fluxo.

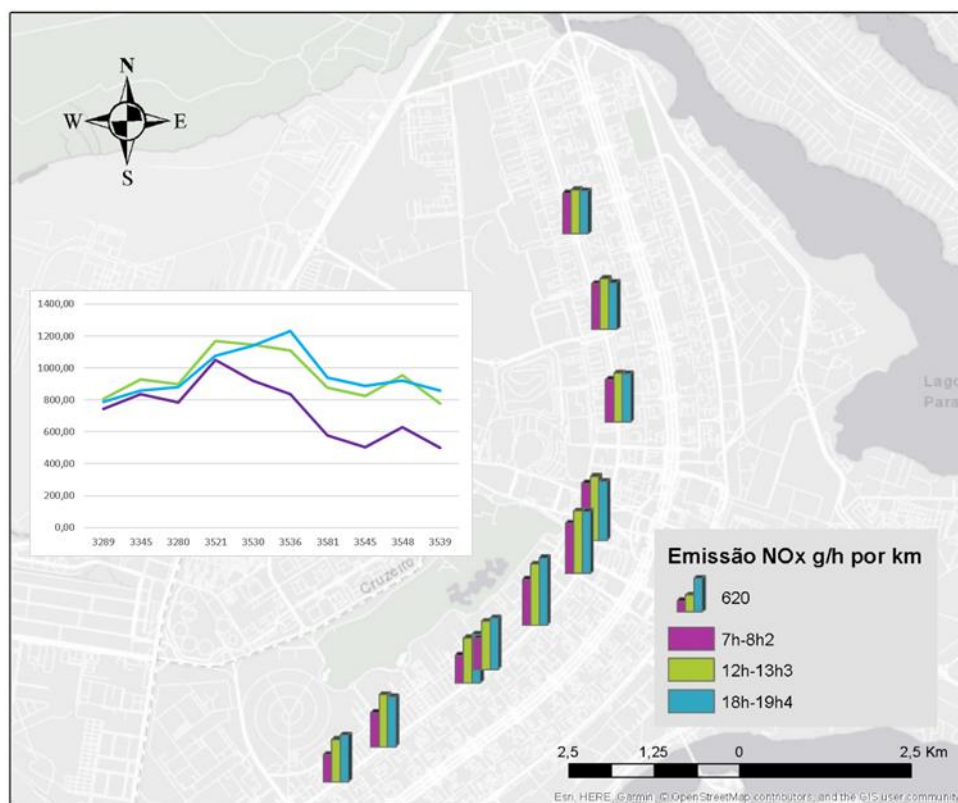


Figura 26 Emissão de NOx g/h por km; Sentido Norte/Sul.

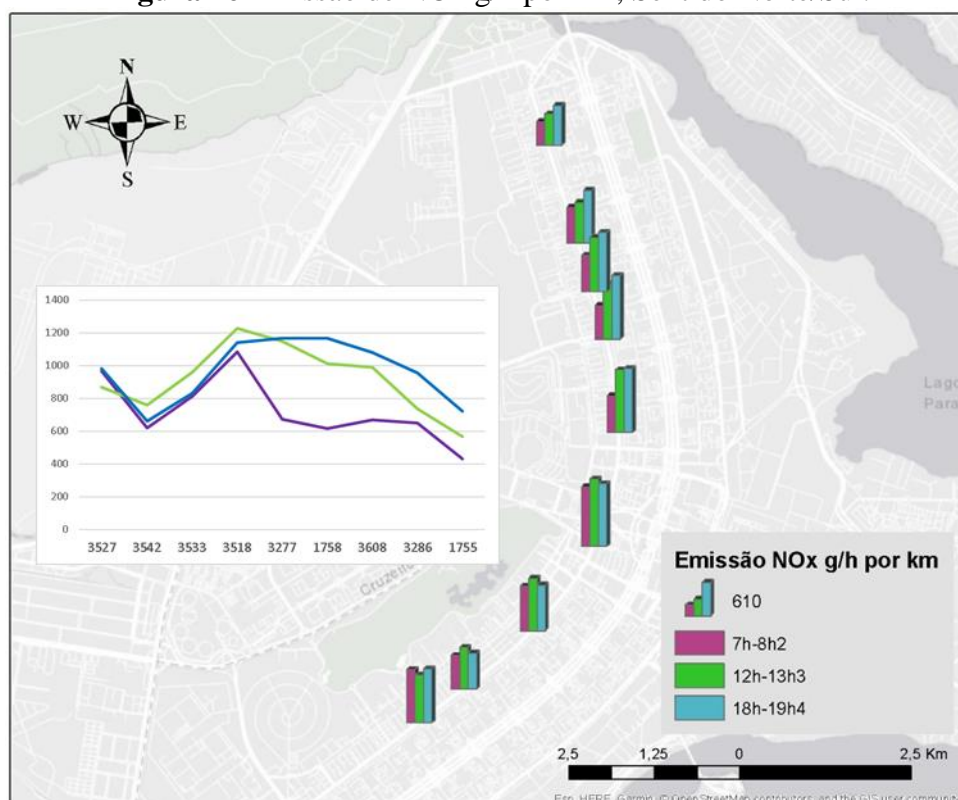


Figura 27 Emissão de NOx g/h por km; Sentido Sul/Norte.

4.4 Classificação do Ar

A classificação do ar nas vias estudadas pode ser classificada de acordo com Índices de Qualidade do Ar (IQAr), que converte as concentrações dos poluentes numa linguagem qualificativa: boa, regular, inadequada, má e péssima. De acordo com a seguinte tabela:

Tabela 13 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr).

Qualidade	Índice	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Boa	0-50	0-50	0-80	0-4,5	0-100	0-80
Regular	51-100	50-150	80-160	4,5-9	100-320	80-365
Inadequada	101-199	150-250	160-200	9-15	320-1130	365-800
Má	200-299	250-420	200-800	15-30	1130-2260	800-1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Fonte: CETESB (2012).

A qualificação do índice está associada com efeitos sobre a saúde, independente do poluente em questão, utilizando-se o índice mais elevado (qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso), conforme a tabela a seguir:

Tabela 14 Significado da qualidade do ar estabelecido pelo IQAr

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0-50	Praticamente não há riscos à saúde
Regular	51-100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (2012).

A classificação apresentada, assim como a maioria encontrada na literatura, determina a qualidade do ar por meio da quantidade de poluente no ar (g/m^3), diferente da metodologia desenvolvida no presente trabalho que quantifica os poluentes gerados pelo tráfego em uma hora (g/h por km).

Para obter um índice de qualidade de ar apenas por dados de tráfego seria necessário um estudo ambiental que levasse em conta diversas características como: temperatura, pressão, direção e intensidade dos ventos, velocidade do tráfego urbano entre outras variáveis que impossibilitam tal análise nesse trabalho.

Afim de obter um índice simplificado para a qualidade do ar foram selecionados dois estudos encontradas na literatura. Vale ressaltar que o resultado representa apenas um esboço, visto que diversos fatores não são considerados.

As duas metodologias consideradas serão expostas a seguir, a primeira diz respeito a área de influência dos poluentes nas proximidades da via e a segunda é uma simplificação da quantidade de poluentes em um determinado volume.

Densidade de tráfego ponderada pela distância (DTPD)

Baseia-se na combinação de dados sobre o fluxo de veículos e a distância das vias no entorno do ponto de interesse (representando a dispersão dos poluentes advindos dos veículos a partir do centro da rua).

Neste modelo se assume que as emissões dos veículos nas vias se aproximam de uma distribuição gaussiana (normal) e que 96% dos poluentes emitidos pelo tráfego veicular se dispersam em até 150 m do centro da via, conforme se visualiza na figura a seguir. Quanto maior o fluxo na via, maior a emissão dos poluentes veiculares, aumentando as concentrações dos mesmos no espaço urbano, principalmente nas residências próximas às vias mais movimentadas (MEDEIROS *et al.*, 2009).

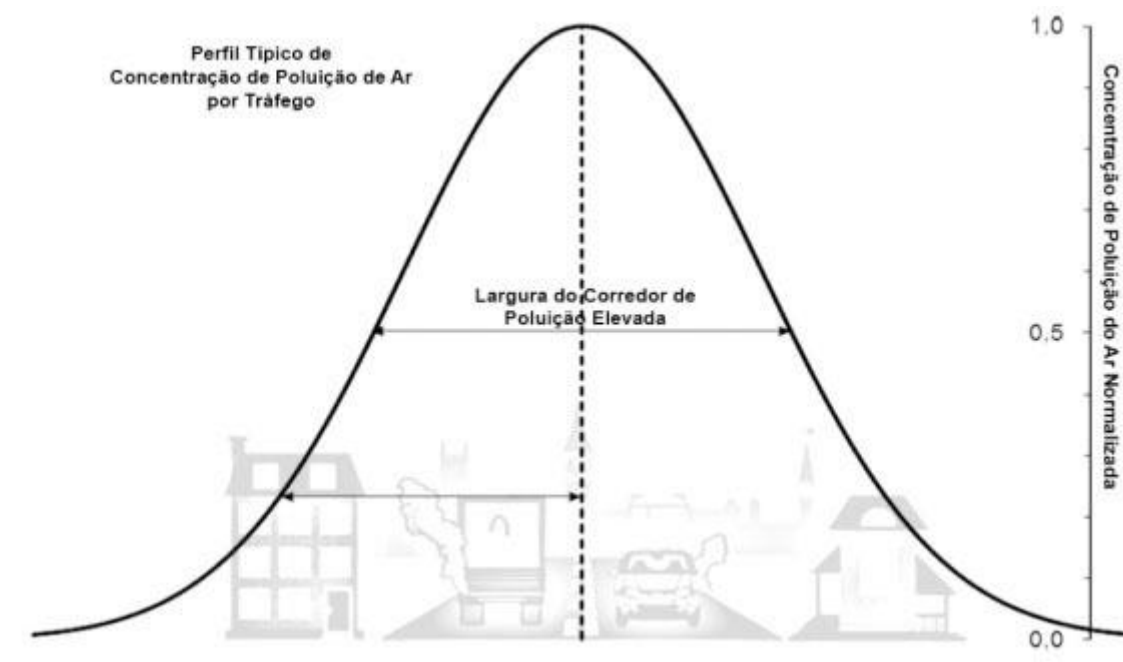


Figura 28 Perfil de concentração de poluentes
Fonte: adaptado de Perason at al (2000).

Quanto maior o fluxo na via, maior a emissão dos poluentes veiculares, aumentando as concentrações dos mesmos no espaço urbano, principalmente nas residências próximas às vias mais movimentadas.

A partir disso, foi possível traçar um raio da área de influência da via nos seus arredores. pode-se observar que a área ultrapassa a ocupação marginal da via afetando locais segregados a via.

Para a representação dessas áreas foram escolhidos 3 pontos distintos (2 na Asa Sul e 1 na Asa Norte) que possuíam ocupação do solo diferentes. Os pontos escolhidos são marcados de acordo com seu radar correspondente nas imagens a seguir:

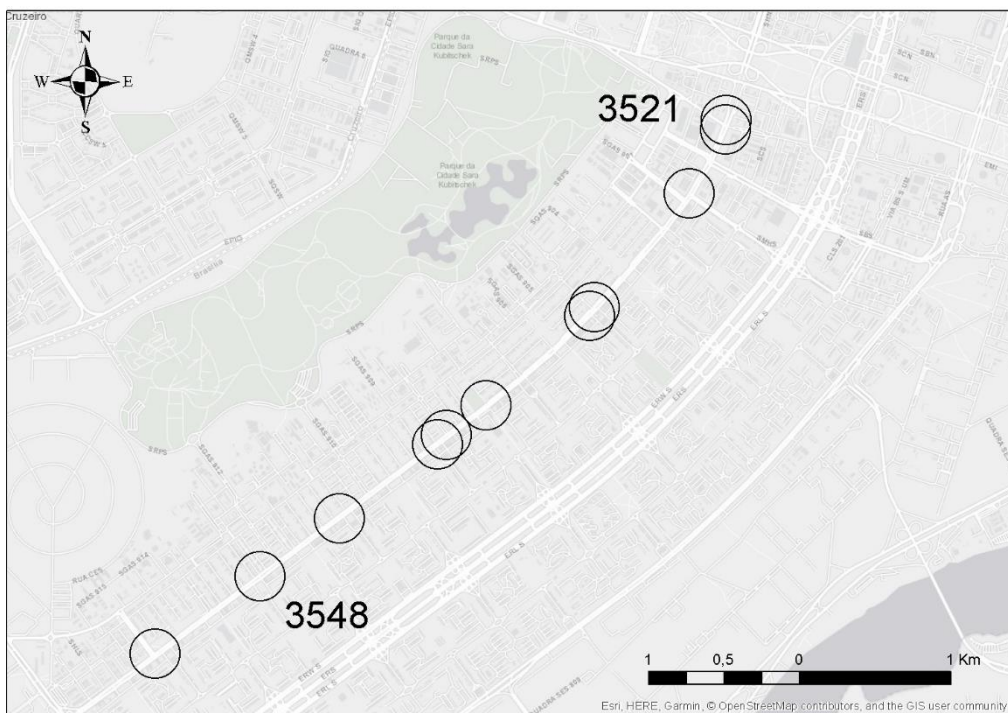


Figura 29 Área de influência na W3 Sul.

- **3548- Setor de Habitações Individuais Geminadas Sul (SHIS):**

A área correspondente a esse trecho caracteriza-se pela presença de residências em um dos lados da avenida e comércio variado no outro. Apesar de não corresponder a um ponto crítico dentre os trechos da W3 na emissão de poluentes, a área representa a situação mais alarmante pois expõem pessoas a um nível significativo de poluentes durante muitas horas, a depender do tempo que permanecem em casa, durante o dia. Além dos poluentes do ar, os ruídos provocados pelo tráfego podem provocar graves lesões a moradores das primeiras faixas de casas próximas a via. O ruído se agrava pelo fato dos ônibus no sentido Norte-Sul trafegam pela faixa da direita a poucos metros das primeiras residências.



Figura 30 Área de influência SHIGS 712/713

- **35321-Setor Hoteleiro, Setor Comercial e Pátio Brasil**

Representa uma área com taxa de emissão máxima de poluentes. Caracteriza-se pela grande circulação de pessoas durante o dia, e pelas diferentes ocupações que atraem turistas, trabalhadores e consumidores.

A presença de estacionamentos entre ao lado da via e a ocupação mais verticalizada não expõem as pessoas desses prédios a níveis bem abaixo das áreas residenciais. Os mais prejudicados são aqueles que trabalham ao ar livre nos arredores da via.



Figura 31 Área de influência setor Hoteleiro Sul e Pátio Brasil.

Na W3 Norte segue a mesma tendência observada na W3 Sul, maiores índices nas áreas próximas ao centro e maior exposição nas áreas residenciais.



Figura 32 Área de influência na W3 Norte.

- Setor de Habitações Coletivas e Geminadas Norte (SCRN)

Área residencial, porém diferentemente do setor da Asa Sul os prédios residências estão atrás do comércio, além de existir estacionamento em dos sentidos, segregando a via dos prédios comerciais.

Área com tráfego moderado, com média circulação de pessoas. Os moradores dos apartamentos residenciais acima das lojas, sobretudo no sentido norte/sul representam o grupo de mais expostos a fumaça e ruídos gerados no tráfego.



Figura 33 Área de influência SCRN 502.

Modelo de simulação das condições de qualidade do ar.

Para obtermos um padrão de referência, entre os dados estimados de NO_2 , e o que estes valores representavam em termos de qualidade do ar, foi idealizado um modelo, no qual as condições reais, se assemelhariam às condições modelares, para isso, considera-se um retângulo onde a largura é a distância entre os prédios/casas que estão no entorno da via, a altura é a altura do maior desses prédios e o comprimento considera-se uma faixa de 1 km (FERREIRA e OLIVEIRA, 2016).

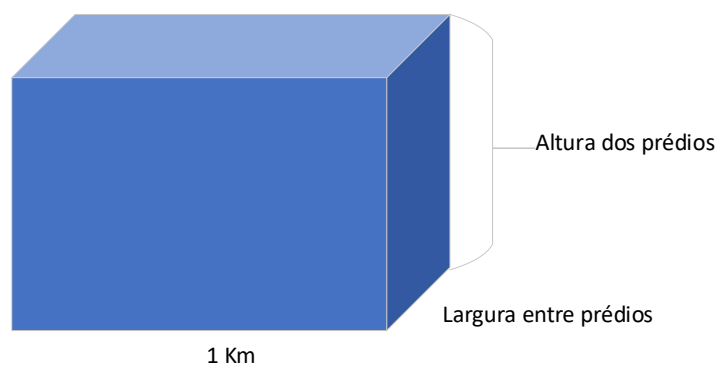


Figura 34 Modelo condições da qualidade do ar

O modelo proposto pode aproximar-se da realidade em pontos próximos a via, como calçadas e estacionamentos, cercados por prédios altos e em situações de pouco vento. No caso da W3, diferentemente da avenida em quem o modelo foi aplicado, a via é larga e os prédios são baixos.

Para a medição das larguras da via, canteiro central, calçadas e altura dos edifícios foram utilizadas ferramentas presentes no *Google Earth* e *Street View*.

Nos pontos onde existem radares nos dois sentidos da via foi considerado a contribuição dos dois, nos demais pontos a contribuição de um dos sentidos da via foi multiplicada por 2, afim de representar os dois sentidos da via.

Mesmo que método englobasse a emissão CO, o índice de qualidade não se alteraria, pois, a concentração de NO_x é mais crítica e determina a qualidade do ar.

Analisando inicialmente somente os horários críticos obteve-se uma classificação Inadequada para a qualidade do ar para todos os pontos analisados. De acordo com a tabela a seguir:

Tabela 15 Emissão de NO₂ em horários críticos

Emissão de NO₂ (µg/m³)			
Pontos	7h-8h	12h-13h	18h-19h
3581 e 3521	541,4471	682,2233	672,3971
3345 e 1758	404,08	539,6088	562,3363
3286 e 3289	386,3659	427,81	484,2943
3536 e 3533	457,5562	573,8671	573,0315
3545 e 3542	404,2471	469,2541	421,9611

Com o objetivo de obter uma análise para todo um dia foram escolhidos 4 pontos representativos. Obteve-se, de acordo com graduação de cores, os seguintes resultados para a concentração de NO₂ (µg/m³):

Tabela 16 Emissão de NO₂ no decorrer de um dia

Horário/Pontos	3533	1758	3581	3345
00:00 às 01:00	41,11	133,33	46,67	116,67
01:00 às 02:00	6,11	117,78	23,33	66,11
02:00 às 03:00	9,44	62,78	17,78	43,89
03:00 às 04:00	6,67	25,00	7,78	25,00
04:00 às 05:00	8,33	26,67	8,89	16,11
05:00 às 06:00	57,78	79,44	36,67	44,44
06:00 às 07:00	234,44	255,00	187,22	217,22
07:00 às 08:00	750,00	570,00	531,67	773,33
08:00 às 09:00	791,11	543,33	538,89	660,56
09:00 às 10:00	816,67	618,89	533,89	697,78
10:00 às 11:00	808,89	655,00	585,56	644,44
11:00 às 12:00	884,44	817,22	655,00	741,11
12:00 às 13:00	883,89	935,00	811,11	858,89
13:00 às 14:00	813,33	842,22	748,89	900,56
14:00 às 15:00	818,33	831,11	769,44	833,33
15:00 às 16:00	863,89	865,56	771,11	786,11
16:00 às 17:00	837,78	912,22	760,00	779,44
17:00 às 18:00	751,11	992,22	817,22	783,33
18:00 às 19:00	768,33	1076,11	868,33	793,33
19:00 às 20:00	580,00	762,78	615,00	562,78
20:00 às 21:00	362,78	562,22	358,33	461,67
21:00 às 22:00	321,67	458,89	271,67	390,56
22:00 às 23:00	233,89	371,11	208,89	313,33
23:00 às 24:00	81,11	187,78	93,89	162,22

Como a área de estudo é limitada a uma única avenida não observa-se significativas mudanças na classificação do ar em uma mesma hora. Dentre os períodos apresentados anteriormente foi escolhido um intervalo, para representação espacial, que apresenta-se alguma variação no trecho linear. Dessa forma foi plotado as cores correspondentes a qualidade do ar no período 22h-23, conforme a figura a seguir:

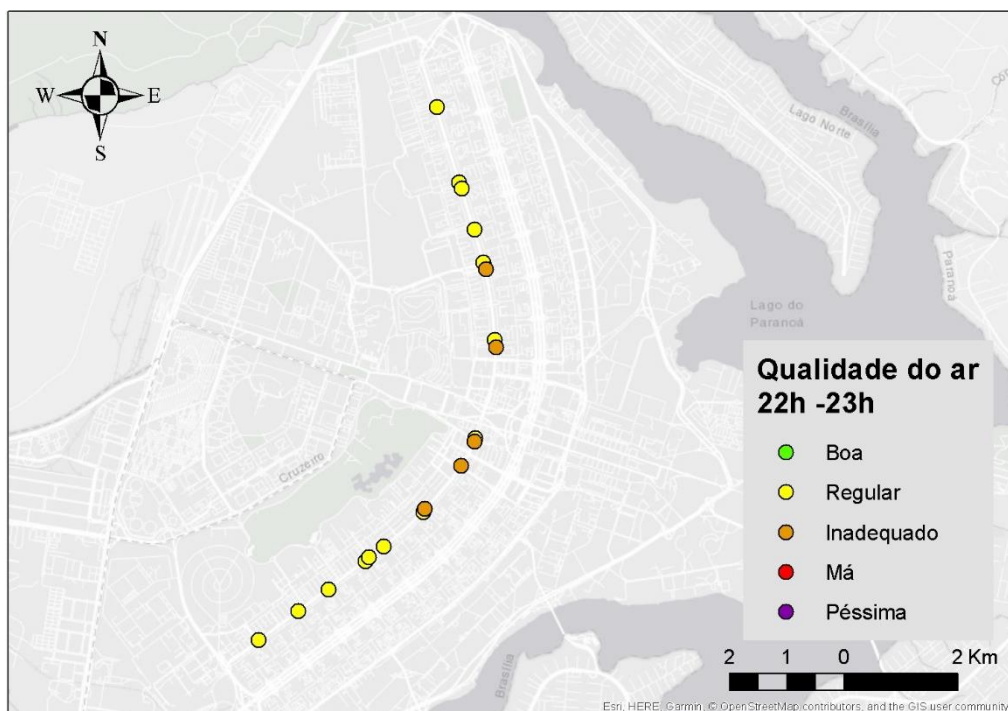


Figura 35 Qualidade do ar 22h-23h

4.5 Níveis máximos de emissões e polos geradores de tráfego

Nas etapas anteriores foi possível traçar um perfil de deslocamentos e tráfego na avenida, a partir disso foi possível obter o perfil do tráfego na via, assim como os pontos de máximos fluxo e emissão. Nessa etapa tais pontos serão relacionados com alguns dos principais polos geradores de viagens na avenida.

Identificados algum dos principais atrativos pode-se ver uma relação direta com os maiores volumes de tráfego. Observou-se os maiores fluxos na parte central, onde situa-se o Setor Comercial Sul, Setor de Rádio e TV, Setor Hoteleiro Sul e Norte e os shoppings Pátio Brasil e Brasília shopping. Fora da parte central destaca-se os pontos correspondentes aos radares 3527 e 3608 situados em pontos próximos ao Setor Hospitalar Local Sul e ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB).

Tabela 17 Volumes máximos

Nº série	Via	Localização	Sentido	Volume diário (21/11)
3518	W3 Sul	Setor Comercial Sul	Sul/Norte	28219
3277	W3 Norte	SCRN 502	Sul/Norte	23582
3521	W3 Sul	Setor Hoteleiro Sul	Norte/Sul	23077
3527	W3 Sul	CRS 511	Sul/Norte	22651
3608	W3 Norte	SCRN 508/509	Sul/Norte	22107
3530	W3 Sul	Setor de Rádio e TV 702	Norte/Sul	22059

A imagem a seguir quantitativa os máximos volumes de tráfego (vermelho) com os polos geradores de tráfego (azul). Os seguintes polos foram considerados: Hospital Santa Lúcia, Hospital Santa Luzia, Centro Médico de Brasília, Colégio Notre Dame, UNIP, Escolas 913 Sul, Hospital Naval de Brasília, Pátio Brasil Shopping, Setor Comercial, Setor Hoteleiro, Setor de Rádio e TV, Libery Mall, Brasília Shopping, Colégio Marista, Centro Universitário de Brasília, Hospital Santa Helena, Extra, Boulevard shopping.

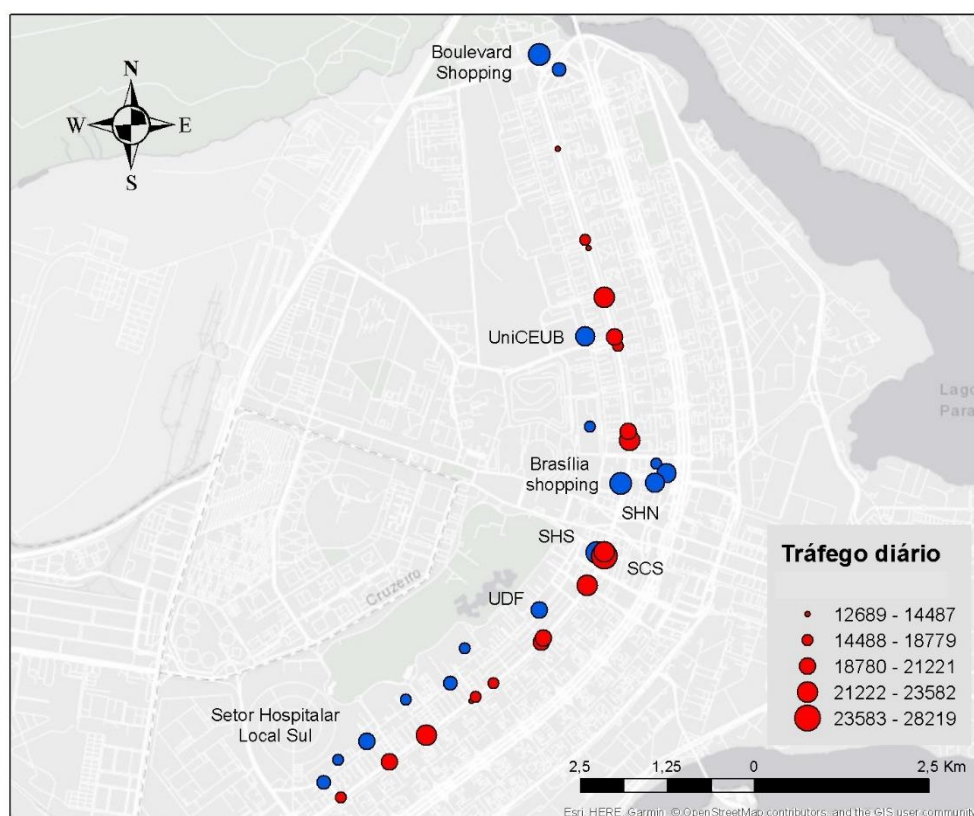


Figura 36 Máximos volumes diários e polos geradores de tráfego

Uma análise completa de um polo pode fornecer o impacto que esse serviço ou empreendimento aplica nas vias próximas. Tal análise é importante para viabilizar ou não novos atrativos nessa via ou em outra que assemelha-se.

5 CONCLUSÃO

5.1 Apresentação

Neste capítulo serão apresentados os objetivos alcançados a partir da metodologia proposta, assim como uma avaliação do método a partir das limitações encontradas e de possíveis trabalhos que podem ser desenvolvidos com princípios parecidos ou complementares a esse.

5.2 Limitações

As principais limitações do estudo estão relacionadas com os diversos fatores que influenciam na forma com que os poluentes se comportam no ar após serem expelidos pelos automóveis. O foco do trabalho foi baseado em conceitos de *Smart City* e geração do Big Data não tendo espaço para aplicação de métodos complexos que simulariam melhor a realidade da qualidade do ar.

Com relação a base de dados fornecida pelo Detran-DF observa-se uma limitação com relação aos tipos diferentes de veículos. Na base fornecida são divididos apenas em veículos leves e pesados, uma divisão mais ampla proporcionaria em estimativa de poluentes mais próxima da realidade.

Ainda com o intuito de atingir uma estimativa mais próxima da realidade, seria necessário conhecer a porcentagem de veículos *flex* que utilizam etanol. Na frota atual os veículos *flex* representam maior porcentagem que os veículos movidos somente a gasolina na categoria de leves.

5.3 Conclusões

Os objetivos finais do trabalho foram alcançados, porém a existência de fatores limitantes e variáveis complexas não garantiram que a qualidade do ar determinada represente a realidade. A obtenção dos índices de emissão foi bem-sucedida, uma vez que diferentes variáveis como: tipo de veículo; idade da frota; combustível utilizado; foram consideradas nos cálculos, aproximando assim das taxas reais. Foi ainda possível comparar os índices obtidos afim de estabelecer relações da ocupação do solo com o tráfego urbano.

O principal objetivo do trabalho foi aplicar uma metodologia alternativa para verificação do nível de poluentes no ar por meio de sistemas de informações geográficas. Os tópicos

apresentados na revisão bibliográfica foram relevantes para o desenvolvimento da metodologia, uma vez ajudam a construir o conceito do protótipo da seguinte maneira:

Cidades inteligentes: toda a ideia de usar dados já existentes, tecnologia da informação e aplica-los em algo que beneficie a cidade baseia-se nos princípios básicos das *Smart Cities*.

Big Data: o tratamento de dados foi fundamental para organizar as informações coletadas pelo Detran-DF. Os dados utilizados representam uma quantidade significativa da frota de veículos da cidade, visto que foi analisado o tráfego, de um mês inteiro, de uma avenida que cruz todo o plano piloto.

Sistemas Inteligentes de Transporte: A ideia de utilizar da tecnologia meios para melhorar as condições de locomoção na cidade englobaram esse tópico. As análises do tráfego na avenida também ajudam a traçar um perfil que serviria para melhor compreensão da região e consequentemente nas melhorias necessárias.

Sistema de apoio a gestão e Sistemas de Informações Geográficas: A criação de cenários uniu as informações coletadas dos dados com as características geográficas da região. Isso possibilita analisar e ajudar a tomada de decisão em possíveis mudanças na via ou na ocupação do seu entorno.

Poluição Veicular Urbana: Esse tópico mostrou se relevante na compreensão da importância de se pensar na qualidade do meio urbano e na saúde e bem-estar dos usuários de transportes. A motivação para tipo índice escolhido partiu dos impactos que a poluição pode causar na vida do ser humano.

O estudo de caso proporcionou conhecer as áreas mais sensíveis a poluição dentro de uma parcela relevante do Plano Piloto. As diferentes ocupações ao longo da via mostraram que diferentes grupos são expostos a poluição, verificou-se que apesar de tratar-se uma única via os pontos próximos ao centro da cidade tem um tráfego expressivamente maior que os pontos extremos. Pôde-se também observar como a ocupação da via promove influência sobre a circulação de veículos ao seu redor, e que o perfil de comércio e serviços presente na parte sul atrai um maior número de carros para a W3 Sul em relação a W3 Norte.

5.4 Avaliação da metodologia e aplicabilidade

A obtenção e o tratamento de dados apresentada foi suficiente para criação dos bancos que serviram para as etapas seguintes. A base geográfica também mostrou suficiente para a criação de cenários e representação dos resultados obtidos.

A metodologia aplicada mostrou-se eficaz para a determinação da taxa de poluentes de um trecho de uma via, aproximando-se mais da realidade de acordo como os dados de tráfego estão especificados. Esses dados podem ser usados para efeito comparativo com outros pontos, identificação de pontos críticos e servem de base para a determinação da qualidade do ar em diversos métodos.

Para a determinação da qualidade do ar a metodologia apresentou-se incompleta visto que diversas variáveis não fizeram parte da análise. O método apresentado serve de base para uma representação mais realística.

5.5 Sugestões de trabalhos futuros

As sugestões de trabalhos podem ser divididas em trabalhos complementares a metodologia apresentada e trabalhos que usariam elementos parecidos para desenvolvimento de outra metodologia.

Com o objetivo de complementar o presente trabalho:

- Desenvolvimento de estudos ou a aplicação de softwares que simulem de maneira precisa a concentração de poluentes no ar em pontos próximos a vias urbanas;
- Criação de protótipo que informe em tempo real a qualidade do ar em pontos específicos da cidade;
- Simular a redução de poluentes com a instalação de VLT na W3 ou pela substituição da frota de ônibus atual por veículos elétricos;
- Analisar a poluição sonora ao longo da via.

Desenvolvimento de outra metodologia:

- Utilizar o banco de dados do Detran para simular o tráfego resultante de uma redução da velocidade ou diminuição do número de faixas de circulação;
- Analisar os maiores polos geradores de viagens por meio do fluxo de veículos, com o objetivo de otimizar e criar rotas de transporte público

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, R.; JAQUES, P. (2010) ANTARES: um sistema web de consulta de rotas de ônibus como serviço público. In: Revista Brasileira Computação Aplicada, v.2, p. 41-56.
- BERTOT JC, CHOI H (2013). Big data and e-government: issues, policies, and recommendations. In Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research. ACM; 2013. pp. 1–10.
- BRANDÃO, Verona Bonna. W3 Sul, ontem, hoje e amanhã – os dilemas de uma avenida modernista. In: XIII SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL – Rio de Janeiro, Brasil. 2009.
- CARVALHO, CARLOS HENRIQUE RIBEIRO. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Brasília: [s.n.], 2011. 42 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2018.
- CAVALCANTI, Flávio R. Avenida W3 Sul; Disponível em: < <http://doc.brazilia.jor.br/Vias/via-W3-sul-Avenida.shtml>>. Acesso em 25 jan. 2019.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2016) Emissões veiculares no Estado de São Paulo - 2016. São Paulo, SP.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2017) Qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2017. São Paulo, SP.
- DAVIS, CLODOVEU; CÂMARA, GILBERTO. (2001) Arquitetura De Sitemas De Informacao Geografica. São José dos Campos: [s.n.], 2001. 35 p.Acesso em: 25 mar. 2018.
- ESTADOS UNIDOS. ITS AMERICA (ITSA). Arquitetura ITS (versão 6.1). Disponível em <http://www.iteris.com/itsarch/html/entity/paents.htm>. Acesso em agosto de 2010.
- FAN W, BIFET A.(2013) Mining big data: current status, and forecast to the future.ACM SIGKDD Explor Newsl. 2013;14(2):1–5.[8].

FERREIRA, C. C. M; OLIVEIRA, D.A.. Estimativa da Poluição Veicular e Qualidade do Ar Nas Principais Vias do Sistema Viário da Região Central Da Cidade De Juiz De Fora – MG. Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo.

FREITAS, F.; MORAES, R. F.; JAQUES, P. (2011) Um sistema web de consulta de trajetos de transporte público. In: IADIS Ibero-Americana WWW/Internet (CIAWI), RJ - Brasil, 2011. IADIS.

GOLDEMBERG, J; NIGRO, F; COELHO, S.(2016) Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. São Paulo: IMESP, 2008. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/textos/bio_05_2008.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2016.

GOVERNING THE SMART CITY: A REVIEW OF THE LITERATURE ON SMART URBAN GOVERNANCE. Espanha: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0020852314564308>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

HOLLANDS, ROBERT G. WILL (2018) the real smart city please stand up?: Intelligent, progressive or entrepreneurial?. [S.l.: s.n.], 2015. 18 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/13604810802479126>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

INDICADORES DE MOBILIDADE URBANA DA PNAD (2012). [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=20330>. Acesso em: 12 jun. 2018.

JUNIOR, Luiz Fernando Vilanova Cerveira O perfil do comércio da W3/W2 e seus aspectos contábeis /Luiz Fernando Vilanova Cerveira Junior -- Brasília, 2014 Quant. p. 41

KHAN M, UDDIN MF, GUPTA N. (2014) Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value. In American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1),2014 Zone 1 Conference of the IEEE; 2014. pp. 1–5.

LINS, Thalita. Da pompa ao abandono: W3 Sul vive dias de decadência ao descaso. Correio Braziliense. Brasília, 11 de nov. de 2013. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2013/11/11/interna_cidadesdf,398095/da-pompa-ao-abandono-w3-sul-vive-dias-de-decadencia-e-descaso.shtml>.

MEDEIROS APP, Gouveia N, Machado RPP, Souza MR, Alencar GP, Novaes HMD et al. Traffic-related air pollution and perinatal mortality: A case-control study. *Environ Health Perspect* 2009

NEIROTTI P, DE MARCO A, CAGLIANO AC, MANGANO G, SCORRANO F.(2014) Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*. 2014;38:25–36.).

PEARSON RL, Wachtel H, Ebi KL. Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers. *Air Waste Manag Assoc* 2000.

POLUIÇÃO VEICULAR ATMOSFÉRICA DA PNAD (2011), disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5281>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

QU, F., Wang, F. Y., and Yang, L. (2010). Intelligent transportation spaces: Vehicles, traffic, communications, and beyond. *IEEE Communications Magazine*, 48(11):136–142.

RAMIS, J. E.; SANTOS, E. A. Uso de automóveis e o caos urbano—considerações sobre o planejamento de transportes das grandes cidades. *Journal of Transport Literature*, Manaus, Amazonas, v. 6, n. 4, p. 164–177, 2012.

SANTOS, LUCIANO DOS. Análise dos acidentes de trânsito do Município de São Carlos utilizando Sistema de Informação Geográfica – SIG e ferramentas de estatística espacial / Luciano dos Santos. São Carlos: UFSCar, 2006. 136 p.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO AO PLANEJAMENTO DE TRÂNSITO E TRANSPORTES. Brasil: [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15342/8641>>. Acesso em: 15 maio 2018.

SUSSMAN, J. (2000), “Introduction to transportation Systems”, Artec House, Intelligent transportation systems library, London.

TACO, G.B.G. (2006). Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM-016A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156 p.

THE Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism. Inglaterra: [s.n.], 2013. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2289141>. Acesso em: 06 jul. 2018.

WHO (1999) Air Quality Guidelines for Europe, 2ª Ed. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

ZARUR, M.; SALLUM S. A ascensão e a queda da Avenida W3. Olhar Brasília. Disponível em: <http://www.olharbrasil.com/2017/11/10/ascensao-e-queda-da-avenida-w3/>. Acesso em 01 jan. 2019